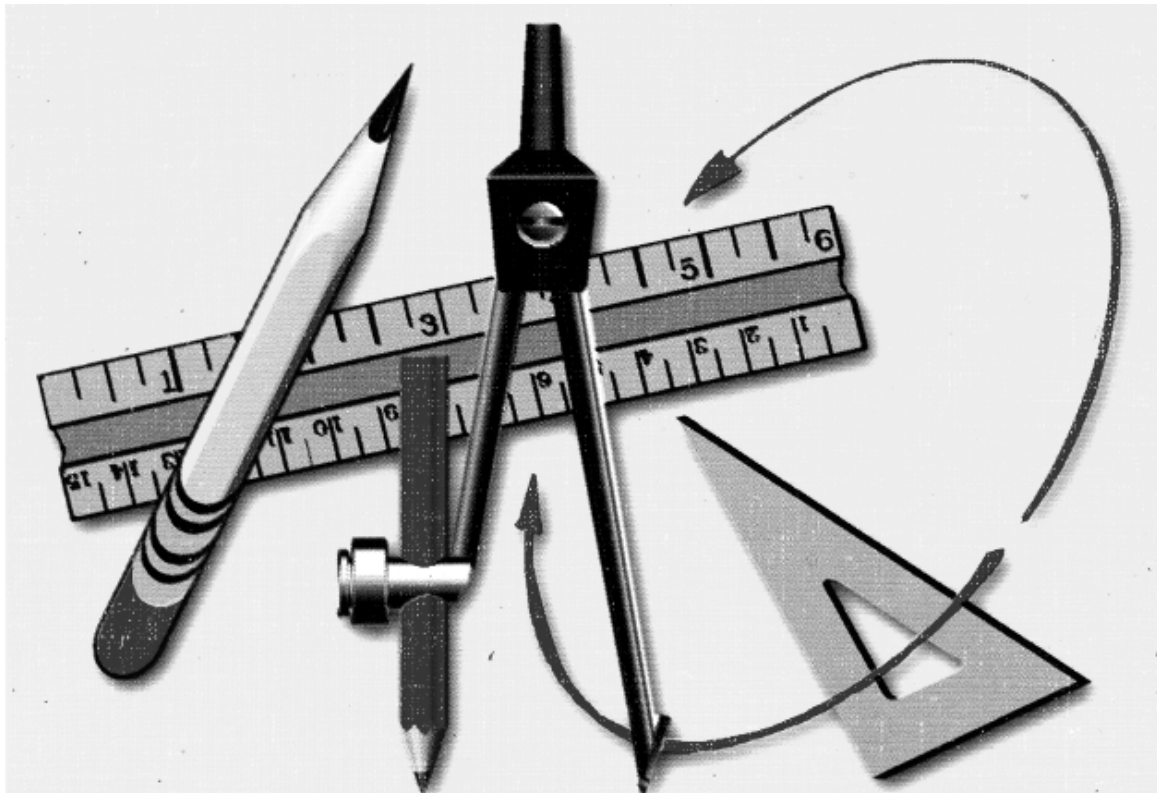


**В. І. ЛУСЬ**

***ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ  
ВИКОНАННЯ ПРОЕКЦІЙНОГО КРЕСЛЕННЯ***

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**В. І. ЛУСЬ**

***ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ***  
***ВИКОНАННЯ ПРОЕКЦІЙНОГО КРЕСЛЕННЯ***

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018**

УДК 514.18(075)

Л86

**Автор**

**Лусь Володимир Іванович**, кандидат технічних наук, доцент, професор

**Рецензенти:**

**Ю. М. Тормосов**, доктор технічних наук, професор кафедри холодильної та торгівельної техніки і прикладної механіки Харківського державного університету харчування та торгівлі;

**В. В. Герасименко**, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри графіки Харківського національного університету будівництва і архітектури

*Рекомендовано на засіданні Вченої ради Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, протокол № 11 від 31.03.2017.*

**Лусь В. І.**

Л86

Теоретичні і практичні основи виконання проєкційного креслення : навч. посібник / В. І. Лусь ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 155 с.

Посібник містить теоретичні основи побудови креслень геометричних фігур (елементи нарисної геометрії), а також практичні прийоми виконання і оформлення креслень виробів відповідно до ЄСКД. Призначено для студентів технічних спеціальностей: 192 – Будівництво та цивільна інженерія, 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, 183 – Технології захисту навколишнього середовища, 185 – Нафтогазова інженерія та технології, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 263 – Цивільна безпека та інших, які вивчають курс «Інженерна графіка».

**УДК 514.18(075)**

© В. І. Лусь, 2018

© ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>5</b>
<b>1 ОРТОГОНАЛЬНЕ (ПРЯМОКУТНЕ) ПРОЕКТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФІГУР .....</b>	<b>6</b>
1.1 Інваріантні властивості ортогонального проектування .....	6
1.2 Комплексні креслення геометричних фігур .....	8
1.2.1 Точка. Проекції точки на дві і три площини проєкцій .....	8
1.2.2 Лінії.....	11
1.2.2.1 Пряма лінія. Приналежність точки прямій лінії. ....	11
1.2.2.2 Крива лінія.....	12
1.2.3 Поверхні .....	15
1.2.3.1 Площина. Задання на кресленні. Приналежність точки і прямої лінії площині.....	15
1.2.3.2 Гранні поверхні. Многогранники.....	20
1.2.3.3 Поверхні обертання.....	24
1.3 Побудова зображень предмета як поєднання простих геометричних фігур. Види по ГОСТ 2.305–68. Вибір головного виду .....	30
<b>2 ВЗАЄМНЕ ПОЛОЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФІГУР. ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ЗАГАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (ПОЗИЦІЙНІ ЗАДАЧІ).....</b>	<b>33</b>
2.1 Взаємне положення прямих .....	33
2.2 Визначення спільних елементів геометричних фігур з умов приналежності .....	35
2.3 Перетин поверхонь з проєктуючою площиною і прямою лінією .....	37
2.3.1 Перетин многогранника з проєктуючою площиною .....	37
2.3.2 Перетин поверхні обертання з проєктуючою площиною.....	38
2.3.3 Перетин поверхонь з прямою лінією.....	43
2.3.4 Перерізи і розрізи (ГОСТ 2.305–68) .....	46
2.4 Побудова лінії перетину поверхонь.....	47
2.4.1 Спосіб допоміжних площин .....	48
2.4.2 Побудова лінії перетину багатогранної і кривої поверхонь.....	49
2.4.3 Побудова лінії перетину двох багатогранних поверхонь .....	52
2.4.4 Побудова ліній перетину кривих поверхонь.....	54
2.4.4.1 Загальний випадок .....	54
2.4.4.2 Перетин соосних поверхонь обертання.....	56
2.4.4.3 Спосіб допоміжних сфер .....	58

2.4.5 Особливі випадки перетину поверхонь другого порядку .....	61
<b>3 ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНЬ.....</b>	<b>64</b>
3.1 Формати.....	64
3.2 Масштаби .....	65
3.3 Лінії .....	65
3.4 Шрифти креслярські .....	66
3.5 Основні правила нанесення розмірів .....	69
<b>4 КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	<b>78</b>
4.1 Ескізування.....	78
4.2 Виконання ескізу моделі (деталі) .....	79
4.3 Побудова дійсного виду похилого перерізу предмета способом заміни площин проекцій .....	97
<b>5 ЗОБРАЖЕННЯ ПРЕДМЕТА В АКСОНОМЕТРИЧНИХ ПРОЕКЦІЯХ .....</b>	<b>103</b>
5.1 Основні поняття і визначення .....	103
5.2 Види аксонометрії.....	104
5.3 Прямокутна ізометрія .....	104
5.4 Прямокутна диметрія.....	105
5.5 Побудова аксонометричних проекцій кривих ліній .....	109
5.6 Послідовність побудови аксонометричних проекцій предмету.....	111
5.7 Умовності при виконанні аксонометричних проекцій .....	114
<b>6 МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ КУРСУ. КОНТРОЛЬНІ ГРАФІЧНІ ЗАВДАННЯ .....</b>	<b>115</b>
6. 1 Виконання і оформлення графічних завдань .....	115
6.1.1 Завдання 1. Перетин поверхонь .....	115
6.1.2 Завдання 2. Ескізування моделей.....	116
6.1.3 Завдання 3. Креслення деталі.....	118
6. 2 Підготовка до захисту завдань. Самоконтроль засвоєння навчального матеріалу ..	122
6.2.1 Питання до захисту завдання 1 .....	122
6.2.2 Відповіді на питання до завдання 1 .....	122
6.2.3 Питання до захисту завдань 2 і 3.....	125
6.2.4 Відповіді на питання до завдань 2 і 3.....	126
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>129</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>153</b>

## ВСТУП

Інженерна графіка є складовою навчальної дисципліни «Нарисна геометрія, інженерна і машинна графіка», знати яку необхідно інженерам усіх спеціальностей. Проектування, будівництво об'єктів машинобудування, розуміння принципу дії зображуваного технічного виробу, розроблення та застосування нових технологій у будівництві тісно пов'язані із зображеннями – кресленнями, рисунками і ескізами.

Це висуває перед дисципліною «Нарисна геометрія, інженерна і машинна графіка» низку важливих завдань. Розділ «Інженерна графіка» має забезпечити майбутніх фахівців уміньми і навичками викладу технічних ідей за допомогою креслення. Інженерна графіка – перший ступінь навчання студентів виконанню і оформленню конструкторської документації.

Основна мета дисципліни – набуття знань і навичок, необхідних студентам для виконання і читання технічних креслень, виконання ескізів деталей, складання конструкторської і технічної документації.

Вивчення дисципліни «Нарисна геометрія, інженерна і машинна графіка» повинно ґрунтуватися на теоретичних положеннях нарисної геометрії, нормативних документах, а також стандартах Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

Графічні завдання навчального посібника охоплюють теоретичний матеріал розділу «Проекційне креслення» дисципліни «Нарисна геометрія, інженерна і машинна графіка» і подані у вигляді окремих навчальних тем.

Проекційне креслення є основним розділом курсу технічного креслення, в якому вивчаються правила, умовності і практичні прийоми побудови зображень в ортогональних і аксонометричних проекціях, установлені стандартами Єдиної системи конструкторської документації.

Між предметом і його проекцією існує взаємно однозначна точкова відповідність.

Технічні креслення мають бути:

- 1) **наочними** – викликати просторове уявлення предмета;
- 2) **зворотними** – за кресленням можна було точно відтворити форму і розміри зображуваного предмета;
- 3) **простими** з погляду їхнього графічного зображення.

Перші стандарти на оформлення креслень були затверджені у 1928 році. Потім вони доповнювалися і змінювалися. У 1965 – 1967 рр. був розроблений комплекс стандартів «Єдина система конструкторської документації» (ЄСКД). Цей комплекс, що містить більше ста тридцяти стандартів, вводить єдині правила оформлення конструкторської документації на усі види виробів в усіх галузях промисловості. Стандарти ЄСКД розроблені з максимальним спрощенням конструкторської документації без збитку для зрозумілості читання креслення та обов'язкові для усіх проектних організацій і навчальних закладів.

На початку курсу вивчаються стандарти на графічне оформлення креслень: **ГОСТ 2.301-68** «Формати»; **ГОСТ 2.302-68** «Масштаби»; **ГОСТ 2.303-68** «Лінії»; **ГОСТ 2.304-81** «Шрифти креслярські»; **ГОСТ 2.305-2008** «Зображення – види, розрізи, перерізи»; **ГОСТ 2.306-68** «Позначення графічних матеріалів і правила їх нанесення на кресленнях»; **ГОСТ 2.307-8** «Нанесення розмірів і граничних відхилень»; **ГОСТ 2.317-8** «Аксонометричні проекції».

# 1 ОРТОГОНАЛЬНЕ (ПРЯМОКУТНЕ) ПРОЕКТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФІГУР

Для побудови зображень (проекцій) предметів на площині застосовують метод проектування. Креслення, що виходять при цьому, називаються проекційними. Під час виконання креслень технічних форм використовують ортогональне проектування. Сутність способу ортогонального проектування полягає в тому, що через кожну точку геометричної фігури проводиться проектувальна пряма, перпендикулярна площині проєкцій, і точка перетину її з цією площиною береться за ортогональну проекцію точки (рис. 1.1).

## 1.1 Інваріантні властивості ортогонального проектування

Властивості геометричних фігур, які не змінюються у процесі проектування, називаються незалежними або інваріантними відносно вибраного способу проектування.

1. Проекцією точки є точка (рис. 1.1):

$$M \rightarrow M_1.$$

2. Проекцією прямої в загальному випадку – пряма (рис. 1.1):

$$l \rightarrow l_1.$$

Якщо пряма перпендикулярна площині проєкцій, то її проекція вироджується в точку (рис. 1.2):

$$l(MN) \perp \Pi_1 \Rightarrow l(MN) \rightarrow l_1 = M_1 = N_1.$$

3. Якщо точка належить лінії, то проекція точки належить проекції цієї лінії (рис. 1.1):

$$C \in l \Rightarrow C_1 \in l_1.$$

Наслідок із пунктів 2 і 3: для побудови проекції прямої достатньо побудувати проекції двох точок, що належать їй, (рис. 1.1):

$$l(A \in l \wedge B \in l) \Rightarrow l_1(A_1 \in l_1 \wedge B_1 \in l_1).$$

4. Проекції паралельних прямих паралельні (рис. 1.3):

$$l \parallel l' \Rightarrow l_1 \parallel l'_1.$$

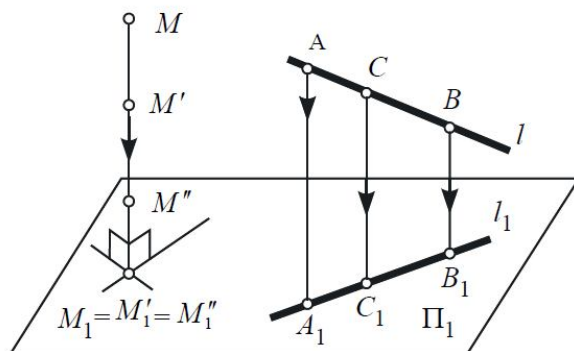


Рисунок 1.1

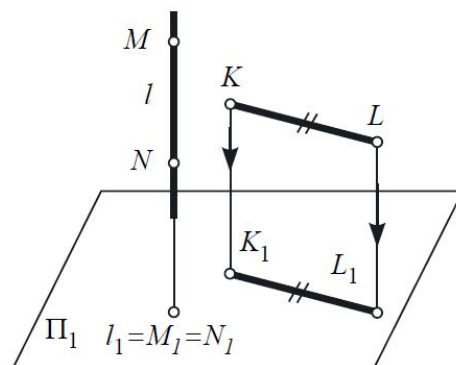


Рисунок 1.2

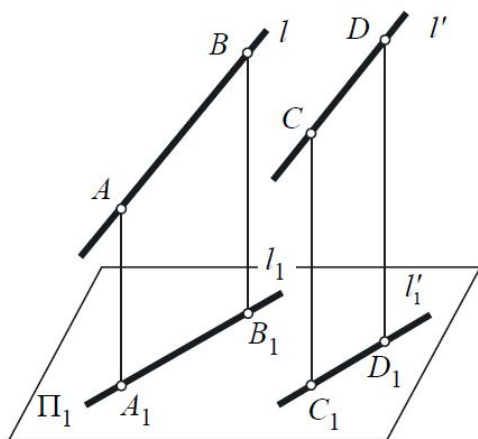


Рисунок 1.3

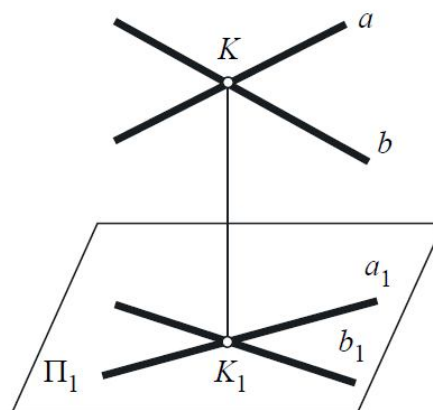


Рисунок 1.4

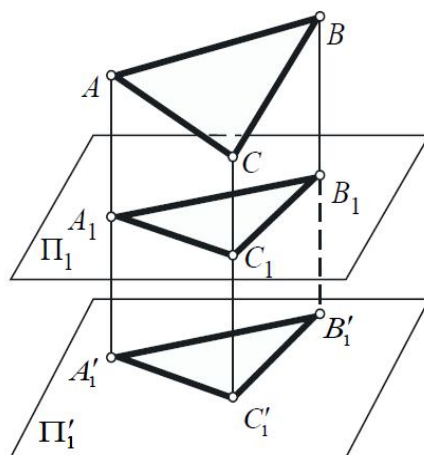


Рисунок 1.5

5. Якщо плоска геометрична фігура паралельна площині проєкцій, то проєкція цієї фігури на площину проєкцій конгруентна самій фігурі

$$\Phi \parallel \Pi_1 \Rightarrow \Phi_1 \cong \Phi.$$

Наприклад, якщо відрізок  $[KL]$  паралельний площині проєкцій, то його проєкція на цю площину проєкцій конгруентна самому відрізку (рис. 1.2):

$$[KL] \parallel \Pi_1 \Rightarrow [K_1L_1] \cong [KL].$$

6. Точка перетину ліній проектується в точку перетину їхніх проєкцій (рис. 1.4):

$$(K = a \cap b) \rightarrow (K_1 = a_1 \cap b_1).$$

7. Проєкція геометричної фігури не змінюється при паралельному перенесенні площин проєкцій (рис. 1.5).

Розглянутий спосіб проектування на одну площину проєкцій дає можливість однозначно розв'язати пряму задачу: маючи предмет, побудувати його проєкцію. Ця задача завжди визначена. Дійсно, кожна точка предмета має тільки одну проєкцію, оскільки проектувальна пряма перетинається з площиною проєкцій в одній точці (рис. 1.2).

У практичній діяльності необхідно уміти не лише створювати креслення, але і читати їх, тобто однозначно оцінювати за кресленням про форму предмета.

Уявлення форми предмета за його проєкцією є зворотним завданням, яке не завжди визначене: якщо задана одна проєкція точки (рис. 1.2), то вона не визначає її положення в



просторі, оскільки є проекцією безлічі точок, що належать проектувальній прямій. Отже однопроекційне креслення предмета є незворотним. Для отримання зворотного креслення предмет проектують не на одну, а на дві, три і більшу кількість площин залежно від складності форми предмета.

## 1.2 Комплексні креслення геометричних фігур

Із позиції теорії множин геометрична фігура визначається як будь-яка множина точок. Простими геометричними фігурами є точка, пряма, площина.

### 1.2.1 Точка. Проекції точки на дві і три площини проекцій

Прийнята система трьох взаємно перпендикулярних площин проекцій, (рис. 1.6):

$\Pi_1$  – горизонтальна площина проекцій;

$\Pi_2$  – фронтальна площина проекцій (розташована перед спостерігачем);

$\Pi_3$  – профільна площина проекцій.

Лінії їхнього перетину  $X_{12}$ ,  $Y_{13}$ ,  $Z_{23}$  – осі проекцій.

Побудуємо ортогональні проекції точки  $A$  простору на площині  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  і  $\Pi_3$ . Відстань  $|AA_1|$  від точки  $A$  до площини  $\Pi_1$  називається *висотою* точки  $A$ , відстань  $|AA_2|$  до площини  $\Pi_2$  – *глибиною* точки  $A$ , відстань  $|AA_3|$  – *широтою* точки  $A$ .

Якщо прийняти площини проекцій  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  і  $\Pi_3$  за координатні площини декартової системи координат, то відстані від точки до площини проекцій є в деякому масштабі координати точки  $A$ : ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). За координатами точки завжди можна побудувати її проекції, а за заданими проекціями – визначити її координати (рис. 1.6 і 1.7).

Зрозуміло, що будь-які дві проекції точки  $A$  визначають її положення в просторі (рис. 1.6). У багатьох випадках для виявлення форми і розмірів предмета необхідно будувати його зображення на три площини. Із огляду на це розглянемо утворення трипроекційного креслення.

Просторова модель площин проекцій незручна для практичного використання, оскільки на площинах  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  спотворюються форма і розміри проекцій геометричних фігур, тому в практиці використовується площинна модель. Для переходу від просторової моделі площин проекцій до плоскої необхідно площині  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  поєднати з нерухомою площиною  $\Pi_2$  обертанням навколо осей  $X_{12}$  і  $Z_{23}$ . Утворення плоскої моделі для точки  $A$  подано на рисунках 1.6 і 1.7.

Сукупність двох і більше взаємозв'язаних ортогональних проекцій геометричної фігури, розташованих на одній площині, називається комплексним кресленням, тобто таким, що складається з комплексу декількох проекцій.

Умови зв'язку між проекціями точки на комплексному кресленні:

1) горизонтальна і фронтальна проекції точки належать одній вертикальній лінії проекційного зв'язку;

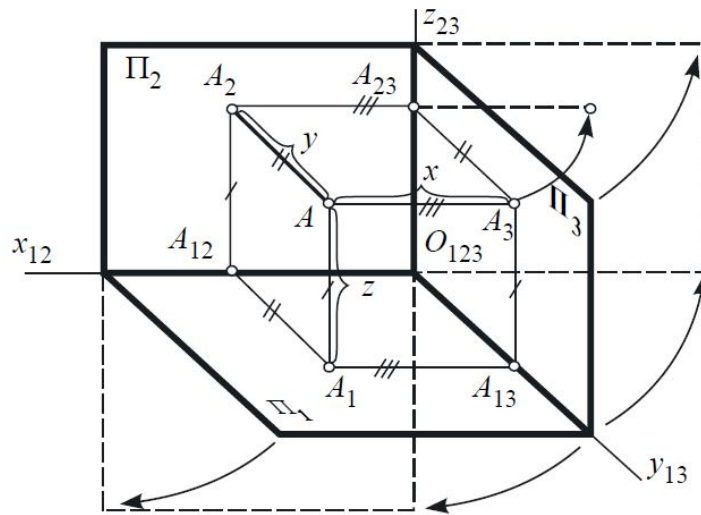
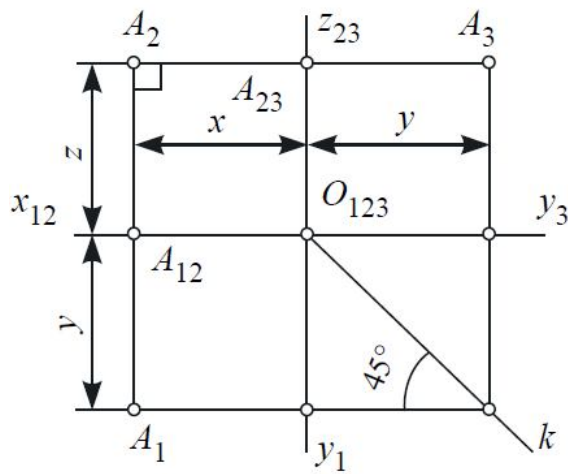
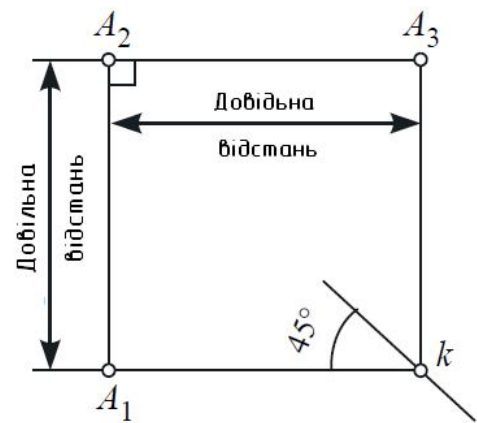


Рисунок 1.6

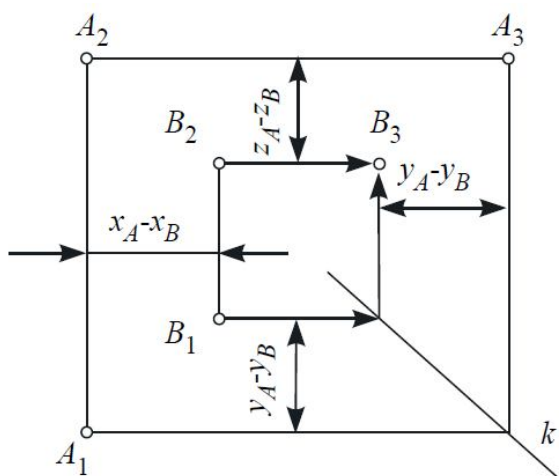


а)

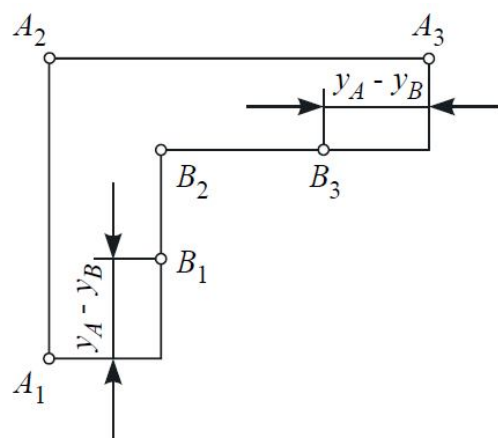


б)

Рисунок 1.7



а)



б)

Рисунок 1.8

2) фронтальна і профільна проекції точки належать одній горизонтальній лінії проекційного зв'язку;

3) горизонтальна і профільна проекції точки належать ламаній лінії зв'язку, вершина якої належить постійній прямій **k** креслення (пряма **k** є бісектрисою прямого кута, утвореного ламаною лінією зв'язку).

У техніці прийнятий безосний спосіб виконання креслень. У цьому випадку площини проекцій не фіксуються в просторі, вісь проекцій стає невизначеною і на кресленні не наноситься (рис. 1.7, б).

В основі цього способу лежить властивість 7 ортогонального проектування (проекція геометричної фігури не змінюється при паралельному перенесенні площини проекцій). На безосному комплексному кресленні умови проекційного зв'язку між проекціями точки зберігаються.

**Задача.** Задана система взаємозв'язаних точок **A** ( $A_1, A_2$ ) і **B** ( $B_1, B_2$ ), (рис. 1.8). Побудувати проекції  $A_3$  і  $B_3$  заданих точок.

Приймаючи точку **A** за базову, профільну проекцію  $A_3$ , задаємо на горизонтальній лінії проекційного зв'язку довільно. Будуємо лінію переломлення **k**, а потім профільну проекцію  $B_3$ , виходячи з умови зв'язку між проекціями точки на комплексному кресленні (рис. 1.8, а).

За безосного способу зображення координати **x**, **y**, **z** точок стають невизначеними. На кресленні (рис. 1.8, а) позначені різниці координат точок **A** і **B**, які не залежать від положення площин проекцій і можуть бути використані для побудови проекцій.

При розв'язанні цієї задачі можна скористатися різницею координат  $|y_A - y_B|$  для побудови профільної проекції точки **B**, (рис. 1.8, б). Профільну проекцію базової точки **A** задаємо довільно на горизонтальній лінії проекційного зв'язку. Потім проводимо горизонтальну лінію проекційного зв'язку з точки  $B_2$  і відкладаємо на ній ліворуч від точки  $A_3$  різницю  $y_A - y_B$ , виміряну на горизонтальній площині проекцій.

На практиці під час побудови третьої проекції предмета за базу відліку відстаней приймають осі і площини симетрії, а також інші базові площини предмета (рис. 1.9).

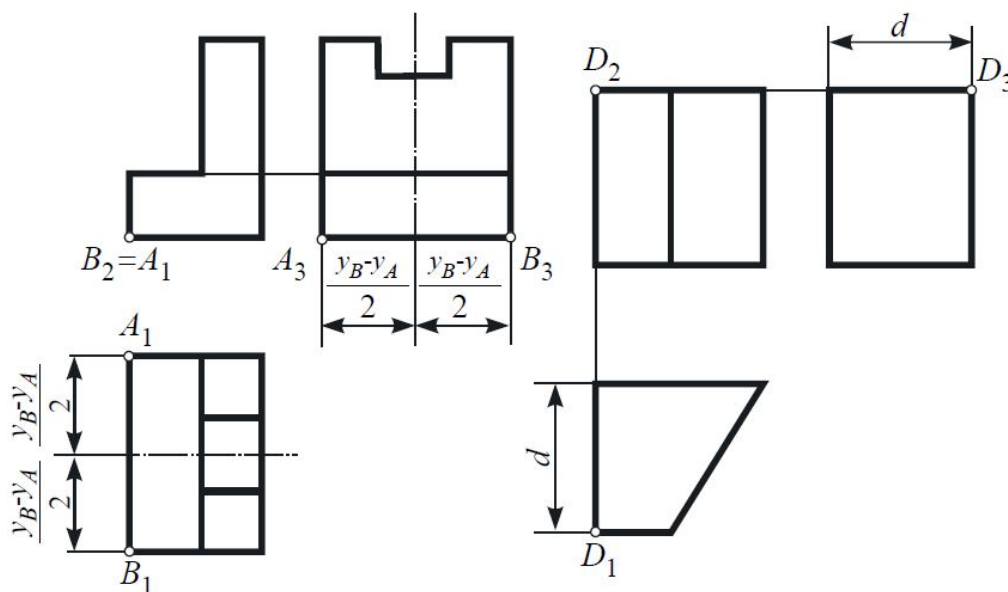


Рисунок 1.9

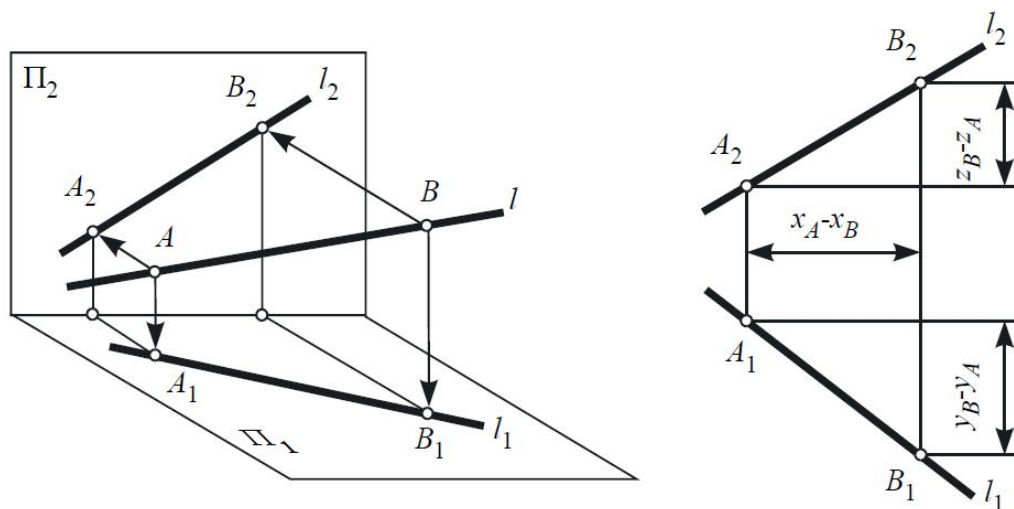


Рисунок 1.10

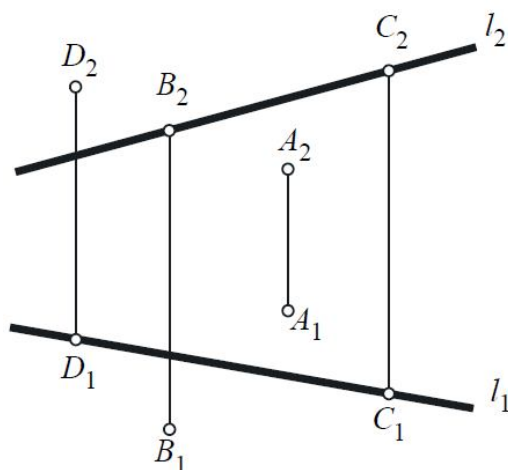


Рисунок 1.11

## 1.2.2 Лінії

Лінії розглядають як слід точки, яка безперервно рухається в просторі, як межу поверхні, як результат перетину двох поверхонь. За допомогою ліній можна виразити функціональну залежність між параметрами якого-небудь явища або процесу у вигляді графіків, побудувати зображення предметів на кресленні. Залежно від форми лінії можна розділити на **прямі**, **ламані** і **криві**.

### 1.2.2.1 Пряма лінія. Приналежність точки прямій лінії. Прямі окремого положення

Відомо, що в загальному випадку проекція прямої лінії є пряма, для побудови якої достатньо побудувати проекції двох її точок.

**Прямою загального положення** називається пряма, не паралельна і не перпендикулярна до жодної з площин проєкцій. Дві проекції прямої загального положення визначають її положення в просторі, оскільки кожна точка прямої має дві проекції (рис. 1.10).

Точка може належати прямій і знаходитися поза нею. Якщо точка належить лінії, то проекції точки належать відповідним проекціям лінії. На рисунку 1.11 точка  $C$  належить прямій  $C \in l \Rightarrow C' \in l' \wedge C'' \in l''$ , а точки  $A$ ,  $B$  і  $D$  не належать прямій  $l$ : точка  $D$  розташована над прямою, а точка  $B$  – перед прямою.

#### Прямі окремого положення

1. Прямі рівня. Прямою рівня називається пряма, паралельна до однієї з площин проекцій.

**Горизонталь**  $h \parallel \Pi_1, z_A - z_B = 0$  (рис. 1.12, а);

$$h \parallel \Pi_1 \Rightarrow [A_1 B_1] = |AB|.$$

Кути  $\alpha$  і  $\beta$  нахилу горизонталі до площин  $\Pi_2$  і  $\Pi_3$  проектуються на  $\Pi_1$  у натуральну величину.

**Фронталь**  $f \parallel \Pi_2, y_A - y_B = 0$  (рис. 1.12, б);

$$f \parallel \Pi_2 \Rightarrow [A_2 B_2] = |AB|.$$

Кути  $\alpha$  і  $\gamma$  нахилу фронти до площин  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  проектуються на  $\Pi_2$  у натуральну величину.

**Профільна пряма**  $p \parallel \Pi_3, x_A - x_B = 0$  (рис. 1.12, в);

$$p \parallel \Pi_3 \Rightarrow [A_3 B_3] = |AB|.$$

Кути  $\alpha$  і  $\beta$  нахилу профільної прямої до площин  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  проектуються на  $\Pi_3$  у натуральну величину.

2. Проектувальні прямі. Проектувальною прямою називається пряма, перпендикулярна одній з площин проекцій.

**Горизонтально–проектувальна пряма**  $g \perp \Pi_1$  (рис. 1.13, а). Горизонтальна проекція цієї прямої вироджується в точку, а фронтальна і профільна проекції паралельні вертикальним лініям проекційного зв'язку.

**Фронтально–проектувальна пряма**  $i \perp \Pi_2$  (рис. 1.13, б). Фронтальна проекція цієї прямої вироджується в точку, а горизонтальна і профільна проекції відповідно паралельні вертикальній і горизонтальній лініям профільного зв'язку.

**Профільно–проектувальна пряма**  $q \perp \Pi_3$  (рис. 1.13, в). Профільна проекція цієї прямої вироджується в точку, а фронтальна і горизонтальна проекції паралельні горизонтальним лініям проекційного зв'язку.

Точки, що належать одній проектувальній прямій, називаються конкуруючими відносно тієї площини проекцій, до якої перпендикулярна пряма. Наприклад, точки  $A$  і  $B$  – конкуруючі відносно  $\Pi_1$ , точки  $C$  і  $D$  – відносно  $\Pi_2$ , точки  $M$  і  $N$  – відносно  $\Pi_3$  (рис. 1.13), які називаються відповідно горизонтально конкуруючими, фронтально конкуруючими і профільно конкуруючими.

#### 1.2.2.2 Крива лінія

Криві лінії розділяється на два види:

- 1) плоскі криві, тобто такі, усі точки яких належать одній площині;
- 2) просторові криві, тобто такі, точки яких не належать одній площині.

Проекції кривої лінії в загальному випадку є також кривими лініями. Побудова проекцій кривої лінії зводиться до побудови проекцій ряду її точок. Криві другого

порядку – еліпс, коло, парабола і гіпербола – можуть бути отримані при перетині конуса площиною (рис. 1.14), тому називаються конічними перерізами.

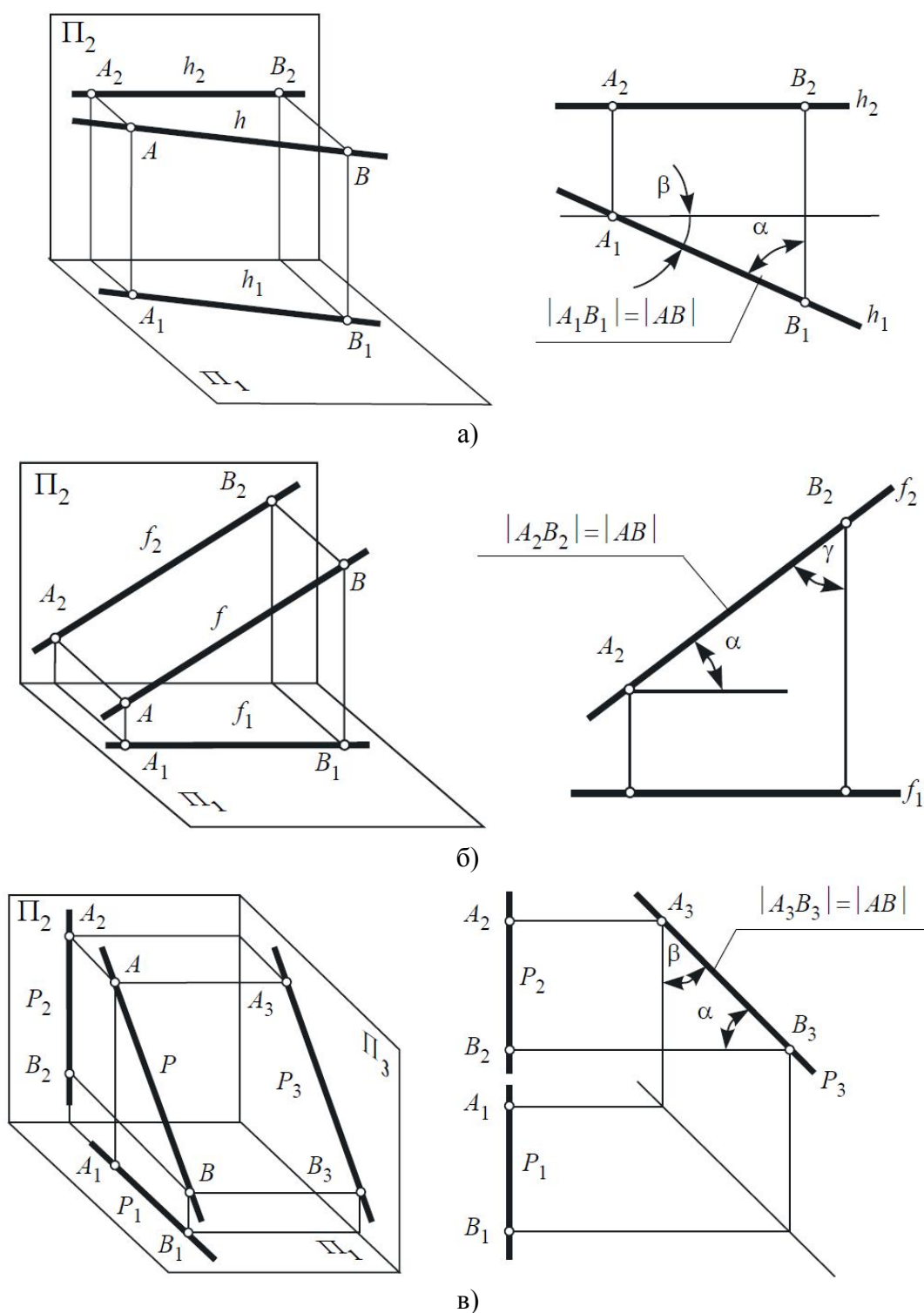


Рисунок 1.12

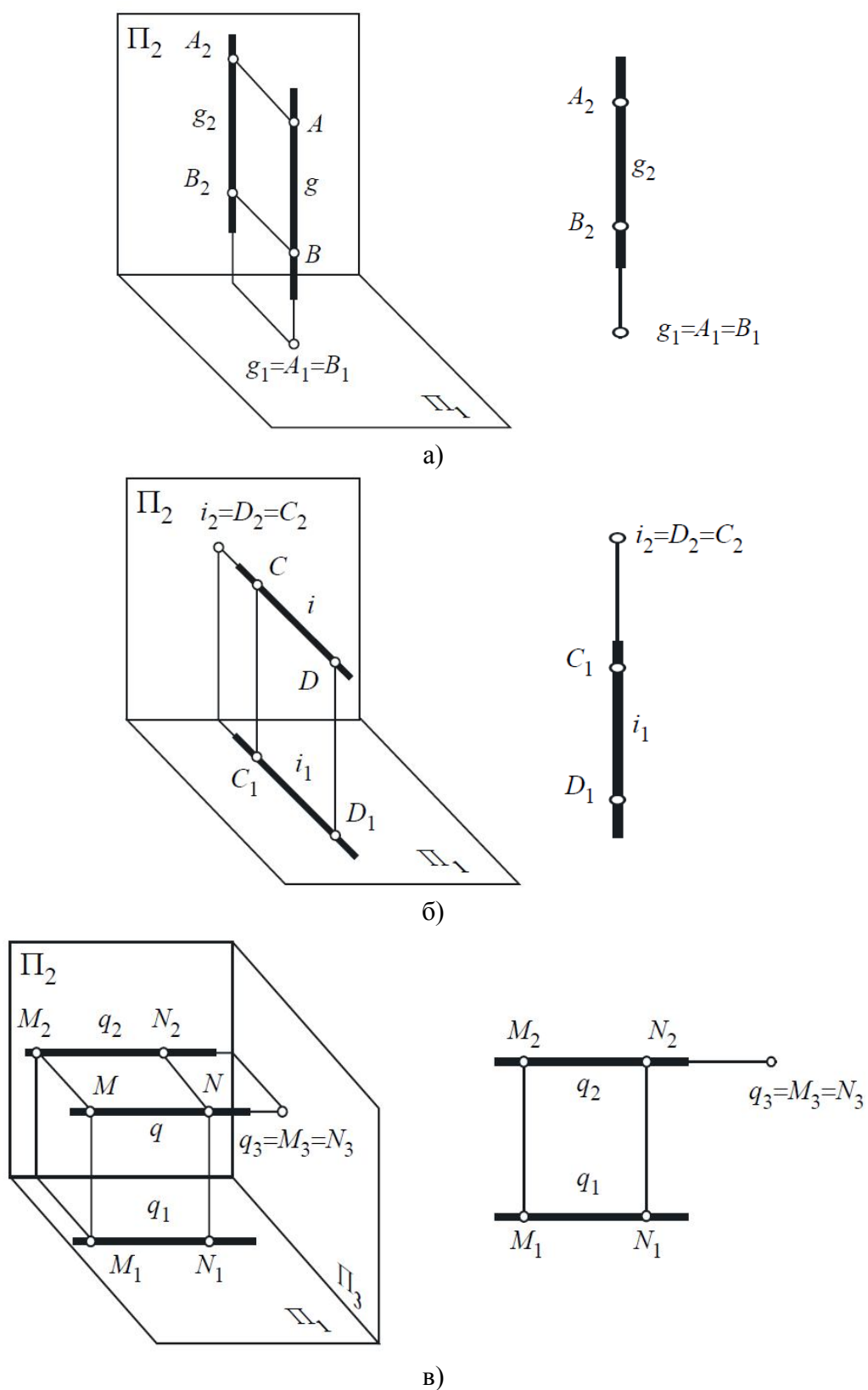


Рисунок 1.13

Коло – це плоска крива другого порядку, ортогональна проекція якої може бути колом, прямою і еліпсом (рис. 1.14). На рисунку 1.14, б фронтальна проекція кола (еліпс) визначається малою віссю еліпса  $A_2B_2 = d \cdot \cos\beta$  і великою віссю еліпса  $C_2D_2 = d$ .

Із закономірних просторових кривих найбільше практичне застосування має циліндрична гвинтова лінія – лінія, яка утворюється в результаті рівномірного гвинтового руху точки – обертання навколо осі і поступальної ходи паралельно до цієї осі.

Величину  $p$  переміщення точки у напрямі осі, що відповідає одному її обороту навколо осі, називають **кроком гвинтової лінії**. Якщо вісь обертання  $i$  перпендикулярна до однієї з площин проєкцій, то на цю площину гвинтова лінія проєктується в коло, а на площину, паралельну осі обертання, – у синусоїду (рис. 1.15).

Розгорткою циліндричної гвинтової лінії є пряма. Кут  $\alpha$  називають кутом підйому гвинтової лінії. В основі роботи гвинтових пар (гвинт – гайка) лежить властивість зрушення гвинтової лінії, яка полягає в тому, що кожен відрізок лінії може зрушуватися уздовж неї без зміни форми.

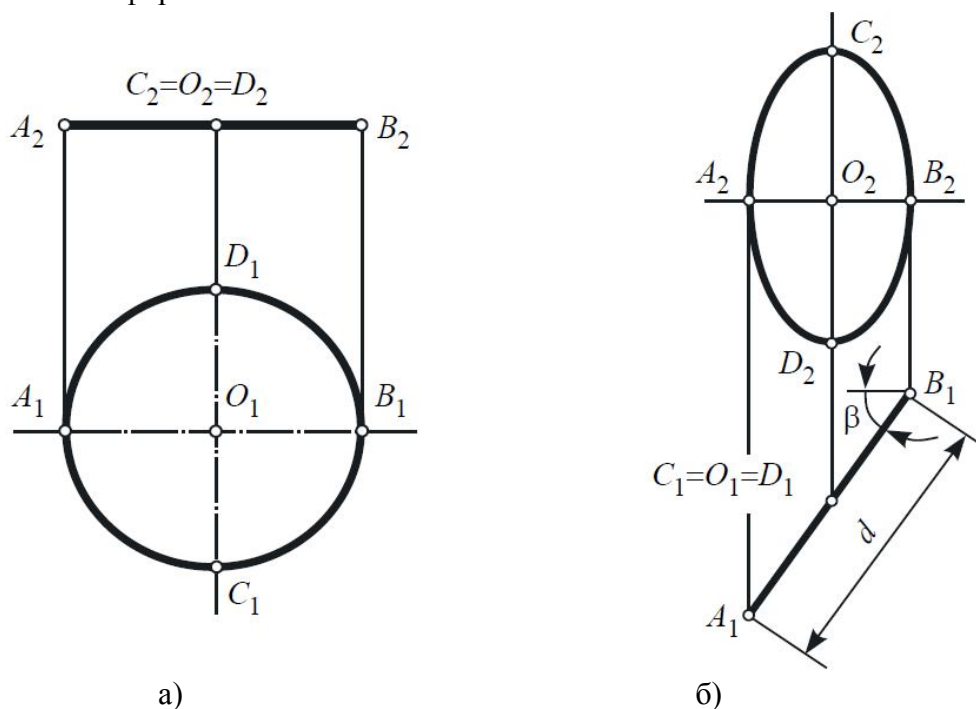


Рисунок 1.14

### 1.2.3 Поверхні

Поверхні, що обмежують різні технічні форми, розділяються на плоскі (площини), багатогранні та криві. Найчастіше деталі машин утворені поєднаннями простих геометричних фігур – призм, пірамід, циліндрів, конусів, сфер, торів.

#### 1.2.3.1 Площина. Завдання на кресленні. Приналежність точки і прямої лінії площини

Площина є простою поверхнею. Залежно від положення, займаного площиною відносно до площин, проєкцій розрізняють:

- 1) площину загального положення – не перпендикулярну і не паралельну площинам проєкцій (рис. 1.16);
- 2) площину проєктувальну – перпендикулярна до однієї з площин проєкцій (рис. 1.17);
- 3) площину рівня – паралельну одній з площин проєкцій (рис. 1.18).



На кресленні площина задається проекціями геометричних фігур, що визначають її положення в просторі:

- трьома точками, що не належать одній прямій (рис. 1.19, а);
- прямою і точкою, яка не належить цій прямій (рис. 1.19, б);
- двома прямими (рис. 1.19, в), які перетинаються;
- двома паралельними прямими (рис. 1.19, г);
- плоскою фігурою (рис. 1.19, д).

Побудова проекцій точки і прямої, що належать площині виконується на підставі таких аксіом:

- 1) через будь-які дві різні точки проходить одна і тільки одна пряма;
- 2) пряма, що проходить через дві різні точки площини, належить цій площині.

На рисунку 1.16, б точка **К** належить площині **Г (ABC)**, тобто вона належить одній з прямих **[AB]**, які задають площину, крім цього  $K_2 \in A_2B_2 \wedge K_1 \in A_1B_1$ .

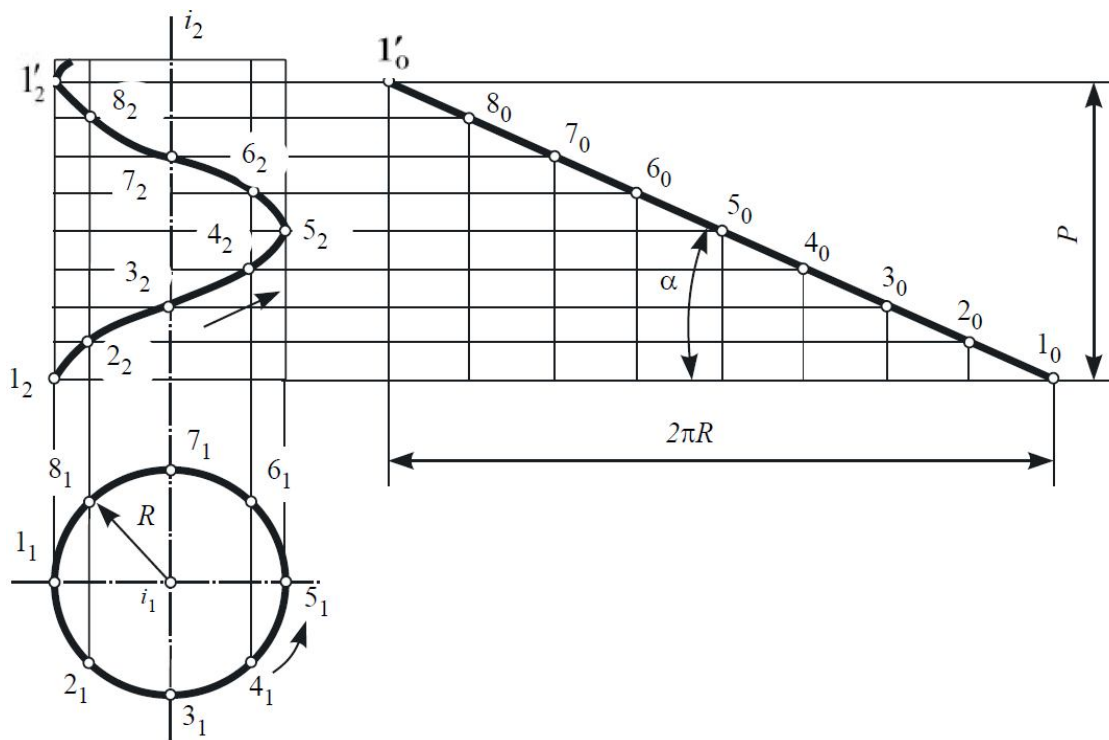


Рисунок 1.15

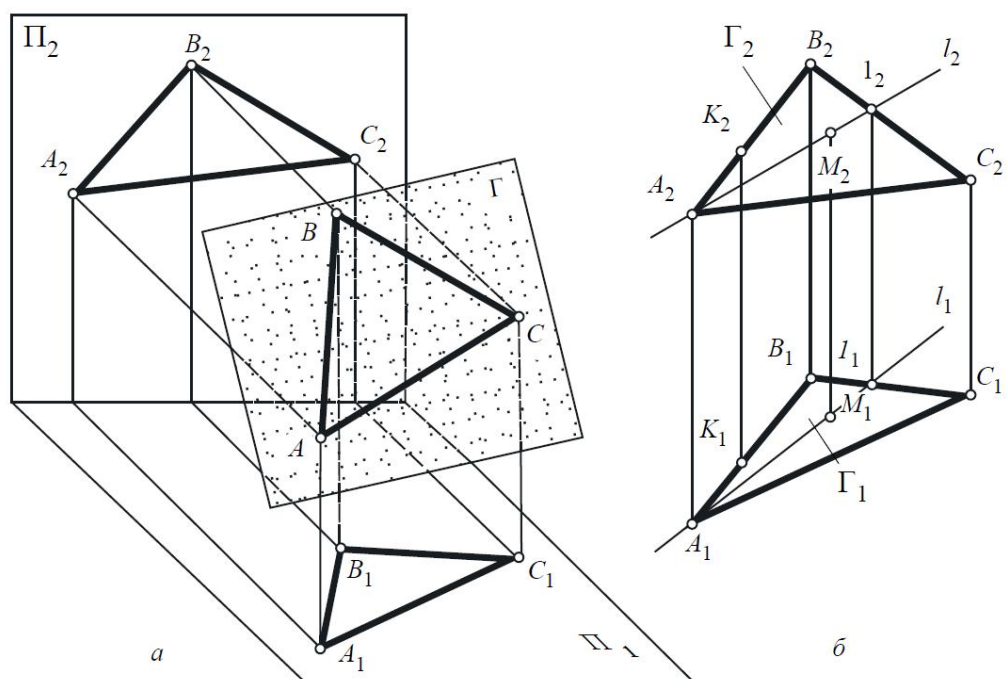


Рисунок 1.16

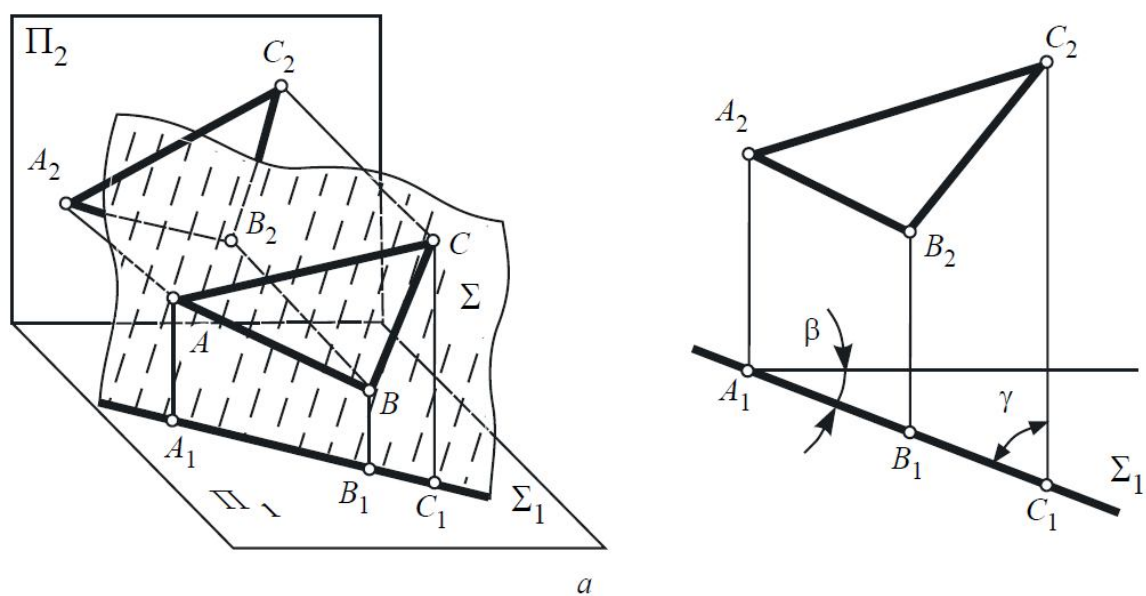
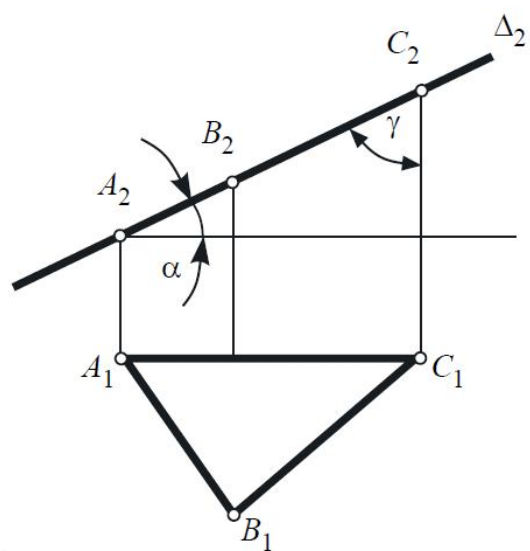
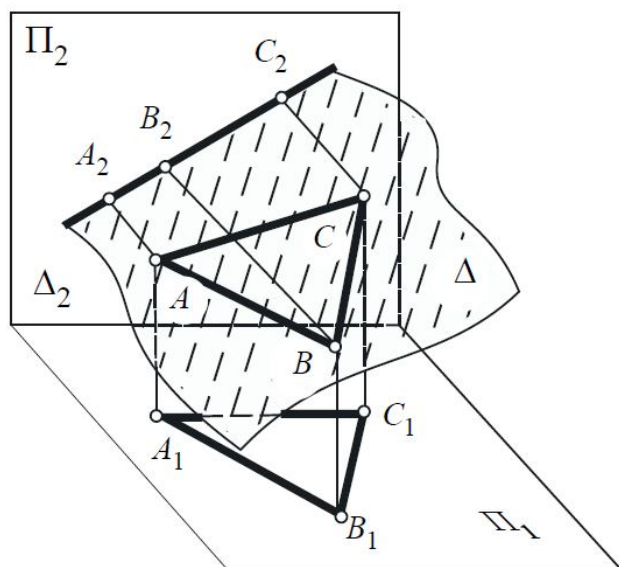
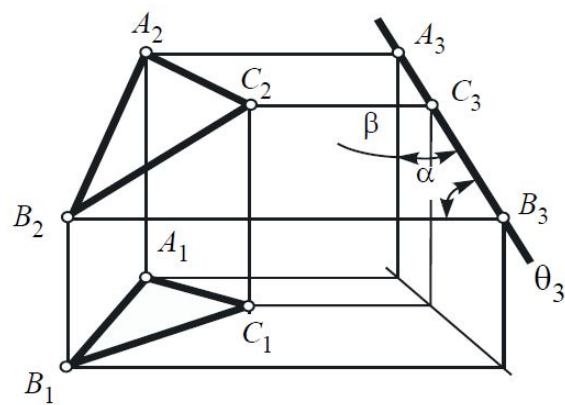
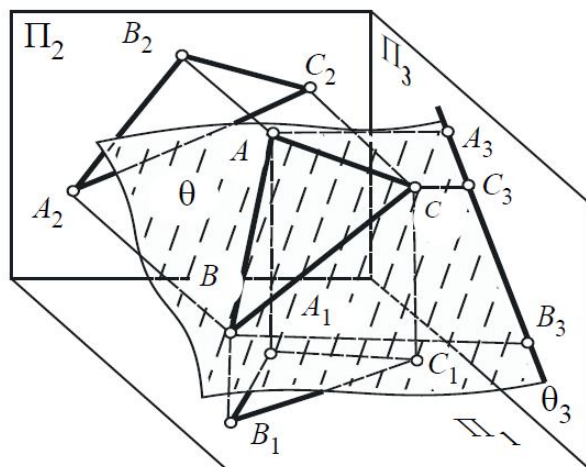


Рисунок 1.17

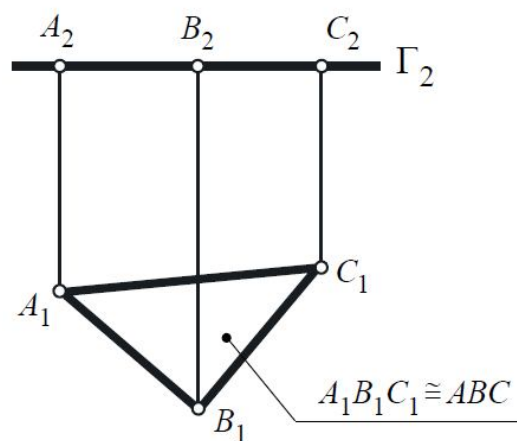
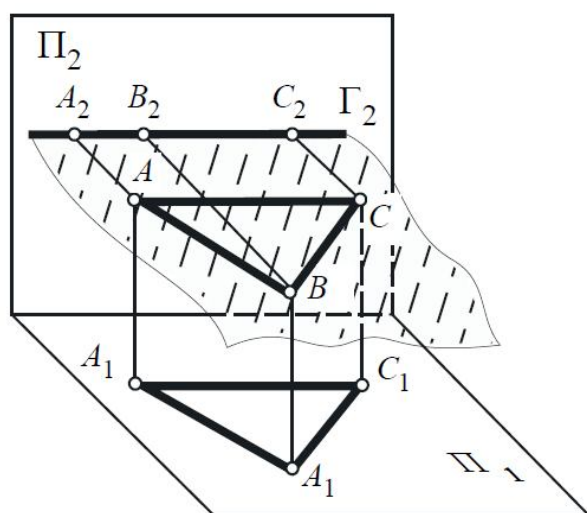


б



в

Рисунок 1.17



а

Рисунок 1.18

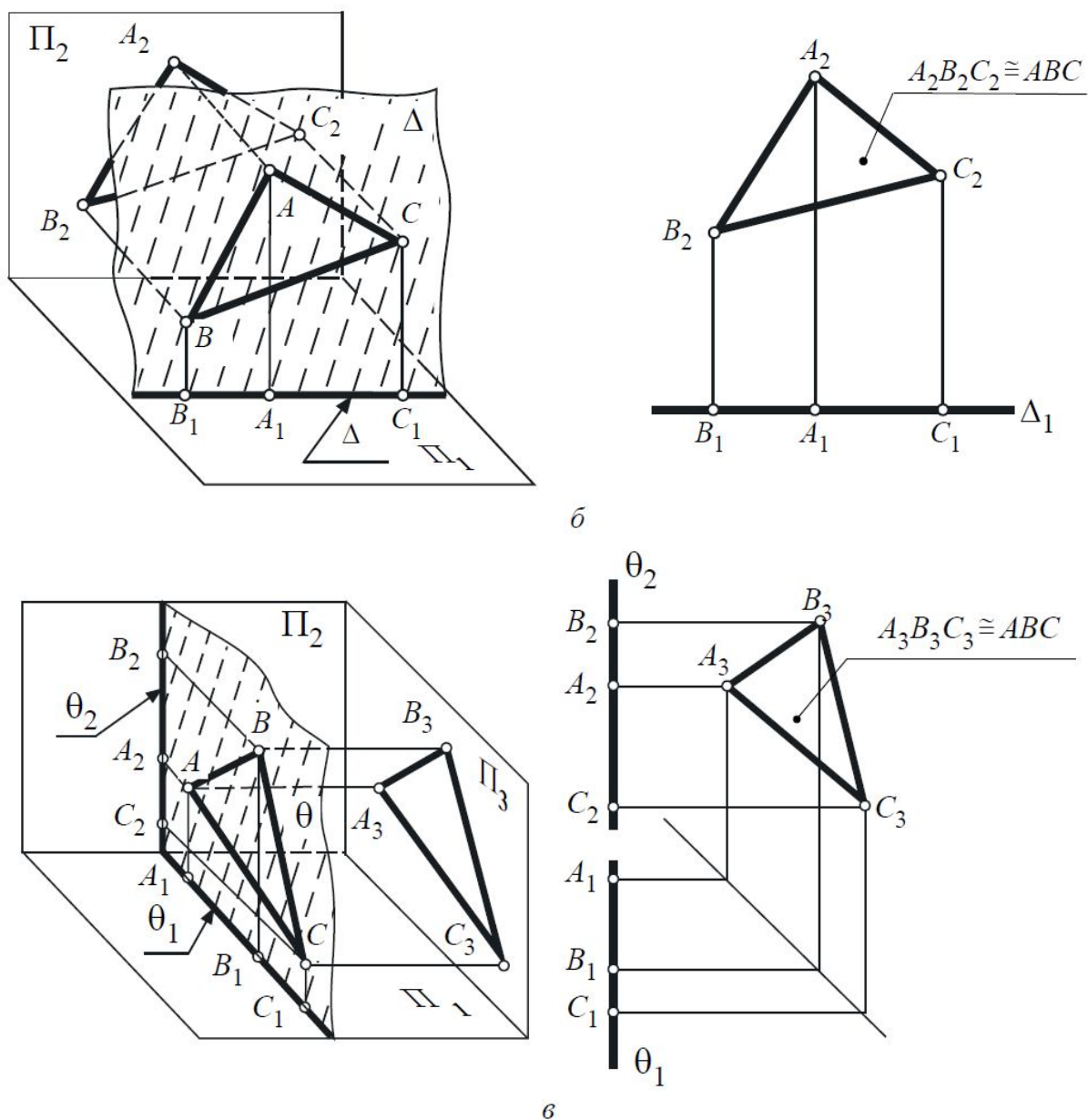


Рисунок 1.18

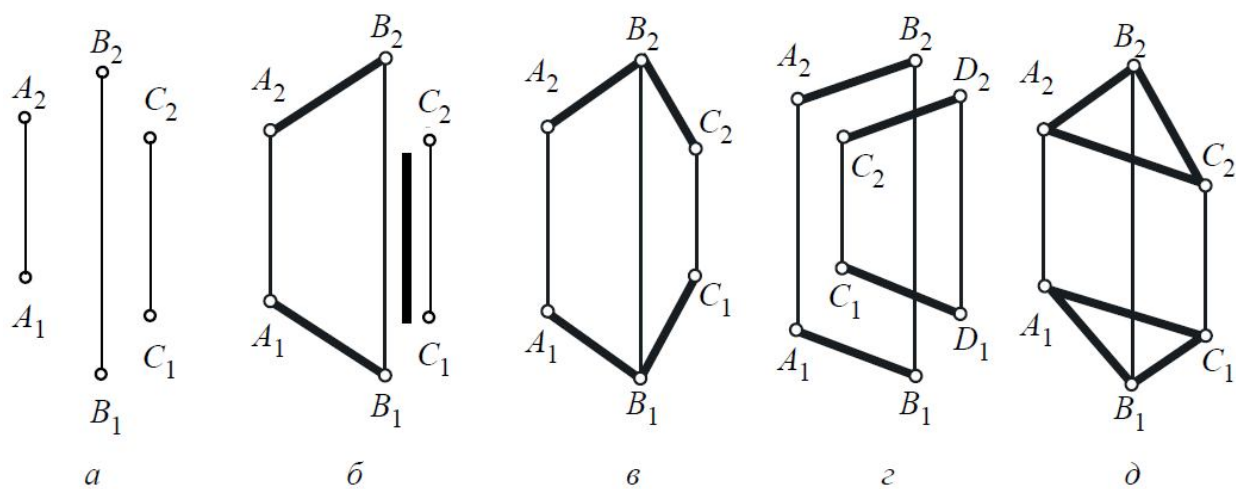


Рисунок 1.19

Для побудови прямої  $l$ , належної площини  $\Gamma (ABC)$ , достатньо провести її через дві які-небудь точки, що належать цій площині, наприклад, точки  $A$  і  $1$ . Точку  $M$ , що належить площині  $\Gamma (ABC)$ , можна узяти на побудованій прямій:

$$M \in \Gamma(ABC) \Leftrightarrow M \in l \wedge l \subset \Gamma(ABC).$$

На рисунках 1.17 і 1.18 дані креслення площин окремого положення – проектувальних і площин рівня.

Залежно від того, до якої площини проекцій перпендикулярна проектувальна площина, її називають: горизонтально-проектувальною, (рис. 1.17, а), фронтально-проектувальною (рис. 1.17, б), профільно-проектувальною (рис. 1.17, в). На комплексному кресленні проекції геометричних фігур, які задають проектувальну площину (а також ті, що їй належать), будуть:

- вироджуватися в пряму лінію на площину проекцій ( $\Pi_1$  на рис. 1.17, а,  $\Pi_2$  на рис. 1.17, б,  $\Pi_3$  на рис. 1.17, в), перпендикулярну до проектувальної площини;
- бути множиною точок, співпадаючих із множиною точок площини на інших площинах проекцій (рис. 1.17).

Залежно від того, якій площині проекцій паралельна площина рівня, її називають:

- горизонтальною площиною рівня (рис. 1.18, а);
- фронтальною площиною рівня (рис. 1.18, б);
- профільною площиною рівня (рис. 1.18, в).

На комплексному кресленні проекції геометричних фігур, які задають площину рівня (а також ті, що їй належать), будуть:

- конгруентні їхній натуральній величині на площині проекцій, паралельній площині рівня (наприклад, на рис. 1.18, а):

$$\Gamma \parallel \Pi_1 \wedge \Delta ABC \subset \Gamma \Rightarrow \Delta A_1 B_1 C_1 \cong \Delta ABC);$$

- вироджуватися в пряму лінію на площинах проекцій, перпендикулярних до площини рівня (рис. 1.18).

Якщо фігура займає профільне положення (рис. 1.18, в), то креслення, що складається з горизонтальної і фронтальної її проекцій – незворотне. Для того, щоб уявити форму заданої фігури, необхідно мати її профільну проекцію або побудувати цю проекцію, якщо на кресленні позначені горизонтальні та фронтальні проекції вершин фігури.

### 1.2.3.2 Грани поверхні. Многогранники

Грани поверхні утворюються переміщенням прямолінійної твірної  $l$  по ламаній напрямній  $m$ . Крім цього, якщо одна точка  $S$  твірної нерухома, створюється пірамідальна поверхня, (рис. 1.20, а). Якщо твірна за цього переміщення паралельна заданому напрямку  $S$ , то створюється призматична поверхня (рис. 1.20, б).

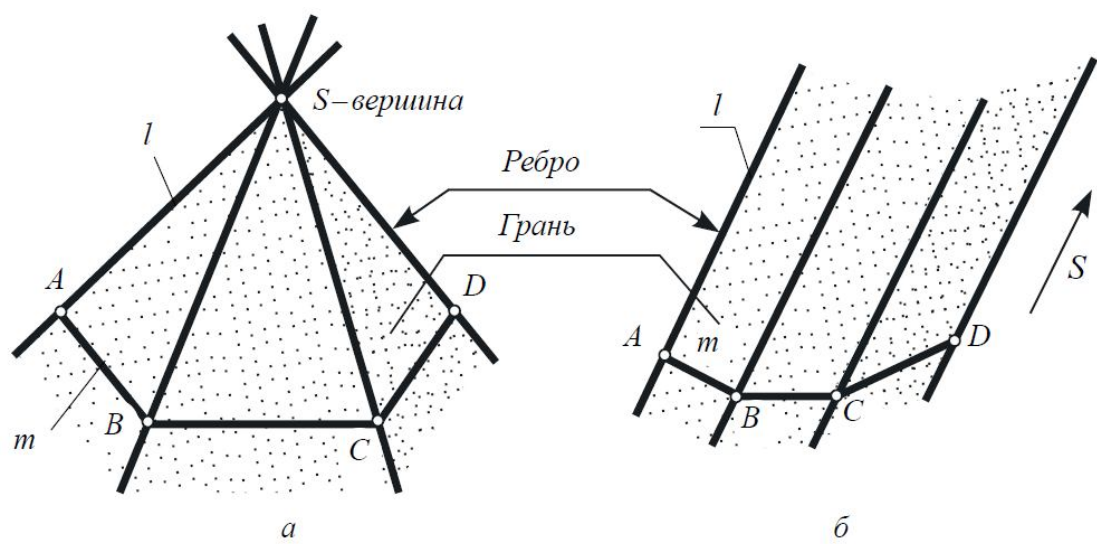


Рисунок 1.20

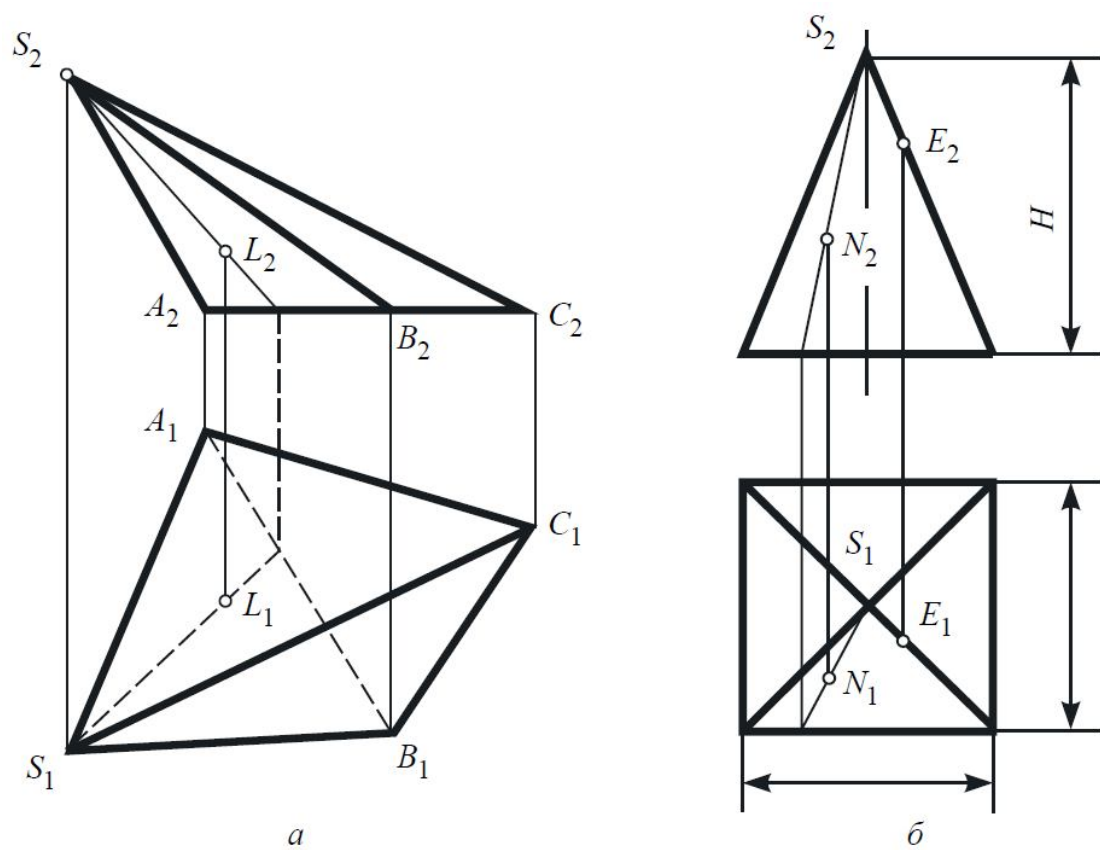


Рисунок 1.21



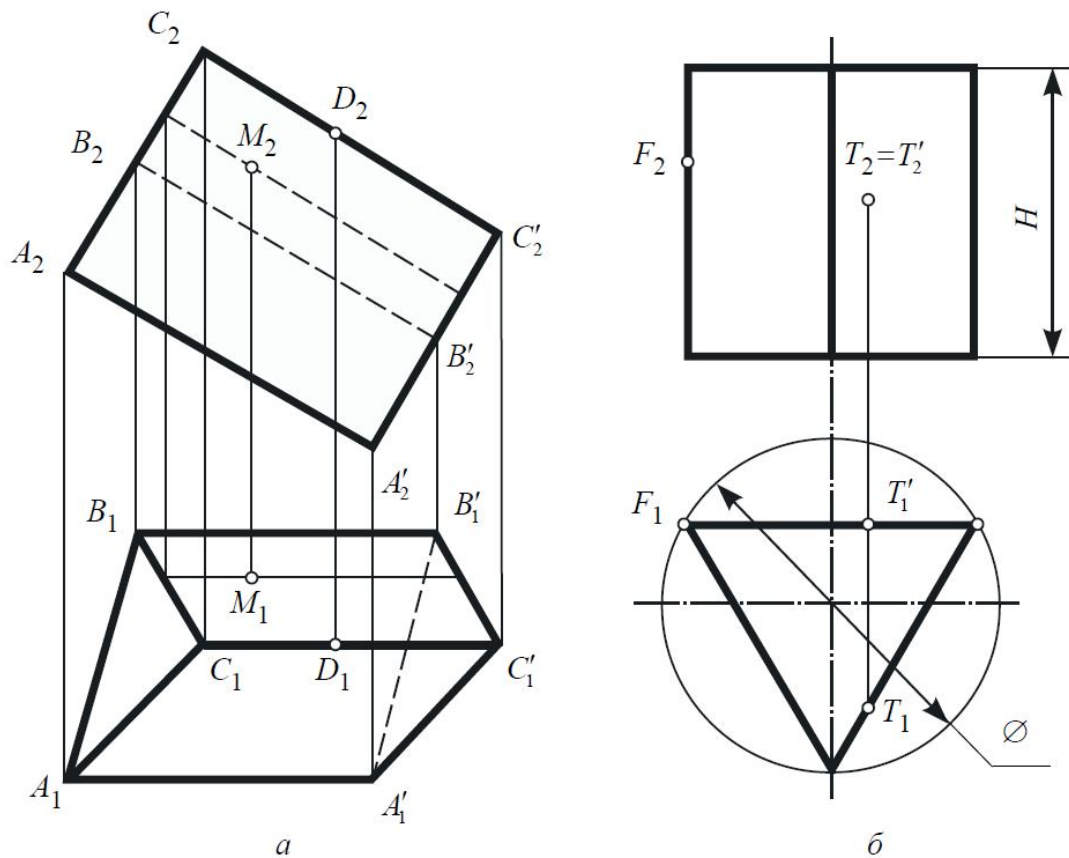


Рисунок 1.22

**Многогранники** – це замкнуті геометричні фігури, обмежені плоскими багатокутниками. Побудова проєкцій многогранників на кресленні зводиться до зображення їхніх ребер і вершин, тобто прямих і точок. Кресленики простих многогранників – піраміди і призми – подані на рисунках 1.21 і 1.22. Кількість проєкцій многогранника має бути такою, щоб забезпечувалась зворотність креслення. Креслення називається зворотним, якщо по одній проєкції точки, що належить площині, можна побудувати її другу проєкцію. У загальному випадку двопроєкційне креслення многогранника, що складається з горизонтальної і фронтальної проєкцій, є зворотним, якщо на ньому немає співпадаючих проєкцій ребер і жодне ребро не є профільною прямою (рис. 1.21 і 1.22).

Якщо ці умови не дотримуються, то для надання кресленню властивості зворотності необхідно побудувати третю проєкцію многогранника (рис. 1.23, а) або позначити усі його вершини. Для куба і прямокутного паралелепіпеда зворотним є трипроєкційне креслення (рис. 1.23, б).

Замкнуті ламані  $S_1A_1C_1B_1$  (рис. 1.21, а) і  $A_1B_1B_1'C_1'A_1'$  (рис. 1.22, а) є нарисами горизонтальної проєкції многогранників, а замкнуті ламані  $S_2A_2C_2$  (рис. 1.21, а) і  $A_2C_2C_2'A_2'$  (рис. 1.22, а) – нарисами фронтальної проєкції многогранників. Нарис проєкції завжди видимий.

На кресленні (рис. 1.22, б) горизонтальна проєкція призми співпадає з проєкцією її основи, тобто ребра – горизонтально-проєктувальної прямої, а основи призми – конгруентні фігури площин рівня. Поверхня прямої призми відносно площини  $\Pi_1$  є проєктувальною. Грані є горизонтально-проєктувальні площини, тому горизонтальні проєкції точок  $F$ ,  $T$  і  $T'$  співпадають із проєкціями граней. У правильної чотирикутної

піраміди, зображеної на рисунку 1.21, б, основа є горизонтальною площиною рівня. Передня і задня грані – профільно-проекувальні площини (вони проходять через передню і задню сторони основи, які є профільно-проекувальними прямими), а дві бічні грані піраміди – фронтально-проекувальні площини.

Побудова точок, що належать ребру або грані призми і піраміди, аналогічна побудові точок, що належать прямій лінії або площині, що було розглянуте в пп. 2.2.1 і 2.3.1. Точки і лінії, що належать видимим проекціям граней на кресленні, видимі (точки  $L_2$  на рис. 1.21, а;  $N_1$  і  $N_2$  на рис. 1.21, б;  $M_1$  на рис. 1.22, а). Якщо проекція грані невидима, то невидима і відповідна проекція точки, що належить цій грані (точки  $L_1$  на рис. 1.21, а;  $M_2$  на рис. 1.22, а;  $T_2'$  на рис. 1.22, б).

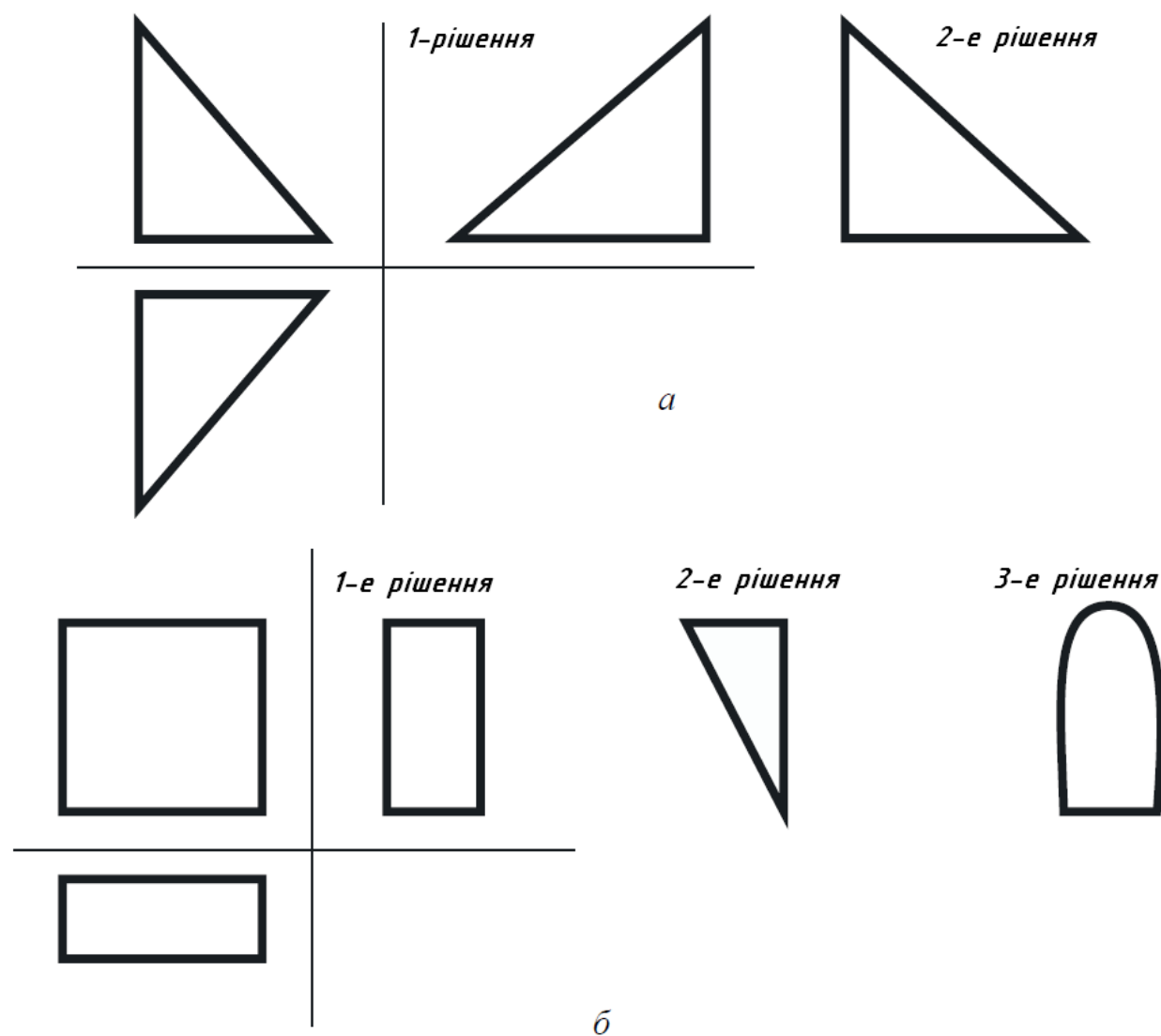
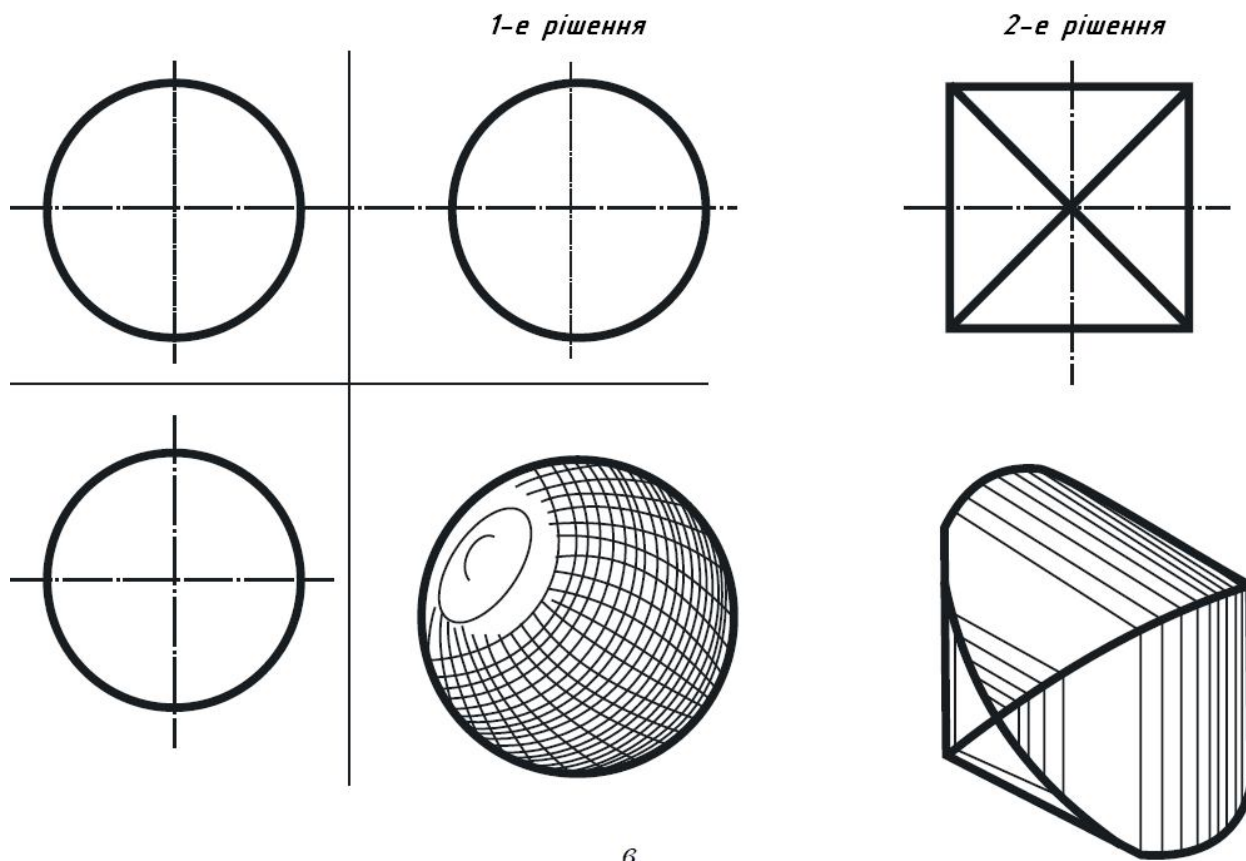


Рисунок 1.23



Продовження рисунку 1.23



6

Для визначення форми правильної піраміди і прямої призми на кресленні достатньо задати висоту і розміри основи.

### 1.2.3.3 Поверхні обертання

Поверхня обертання утворюється обертанням якої-небудь лінії (твірної) навколо нерухомої осі. Залежно від виду твірної, (пряма чи крива лінія), поверхні обертання можуть бути лінійчатыми (циліндр, конус) і нелінійчатыми (сфера, тор).

Кожна точка твірної описує коло, площина якого перпендикулярна осі обертання (рис. 1.24). Ці кола називаються **паралелями**. Отже, площини, перпендикулярні осі, перетинають поверхню обертання по **паралелях**. Найбільшу і найменшу паралелі називають відповідно **екватором** і **горлом**. Площини, що ходять через вісь поверхні обертання, називають **осьовими**, а лінії, по яких вони перетинають поверхню, – **меридіанами**.

Фронтальний меридіан називають **головним меридіаном**, він визначає фронтальний нарис поверхні обертання. Профільний меридіан визначає профільний нарис поверхні обертання. Усі меридіани поверхні обертання конгруентні.

Під час проектування поверхні на площину проєкцій проєктувальні промені торкаються цієї поверхні в точках, що утворюють на ній деяку лінію, яка називається лінією видимого контуру (рис. 1.25).

Лінія видимого контуру поверхні розділяє її на дві частини: видиму, звернену до спостерігача, і невидиму. Для наочності на кресленні поверхні будують нариси її проєкцій, які є проєкціями відповідних ліній видимого контуру.

На рисунку 1.26, а зображений прямий круговий циліндр, який утворений обертанням прямої навколо осі, що паралельна твірній. Оскільки вісь циліндра – горизонтально–проектувальна пряма, то поверхня є проектувальною відносно площини  $\Pi_1$ , і горизонтальна проекція поверхні – коло. Горизонтальна проекція будь-якої точки, що належить поверхні циліндра (на кресленні точки  $A$ ,  $A'$  і  $B$ ), належать цьому колу.

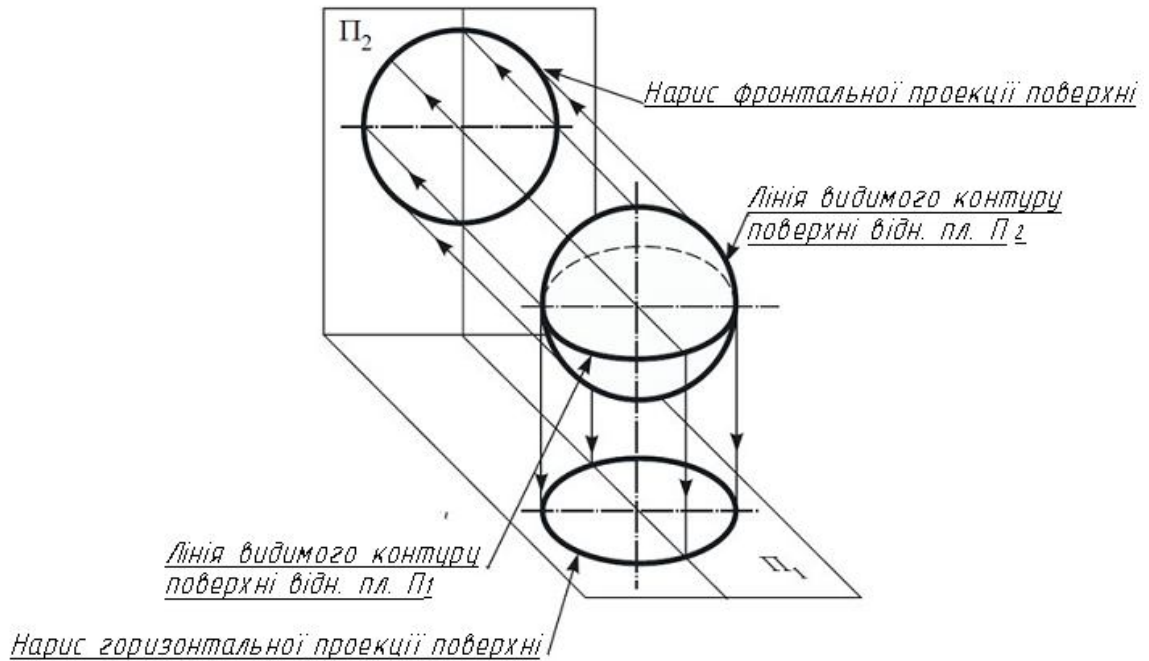


Рисунок 1.24

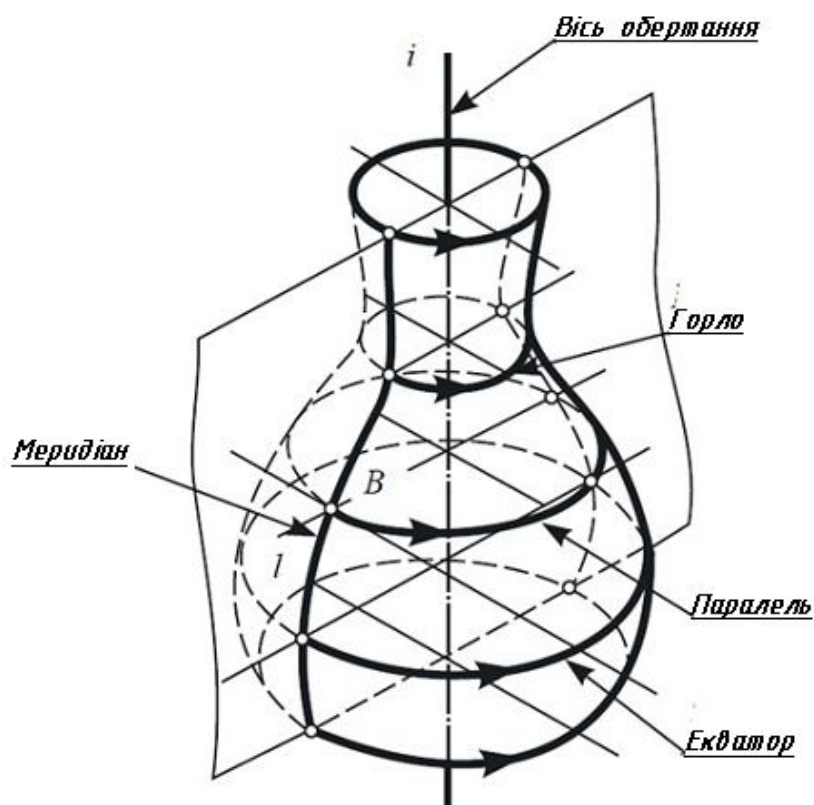


Рисунок 1.25

Для побудови проєкцій точок, що належать не проєктувальним поверхням, використовують таке правило: **точка належить поверхні, якщо вона належить якій-небудь лінії цієї поверхні.**

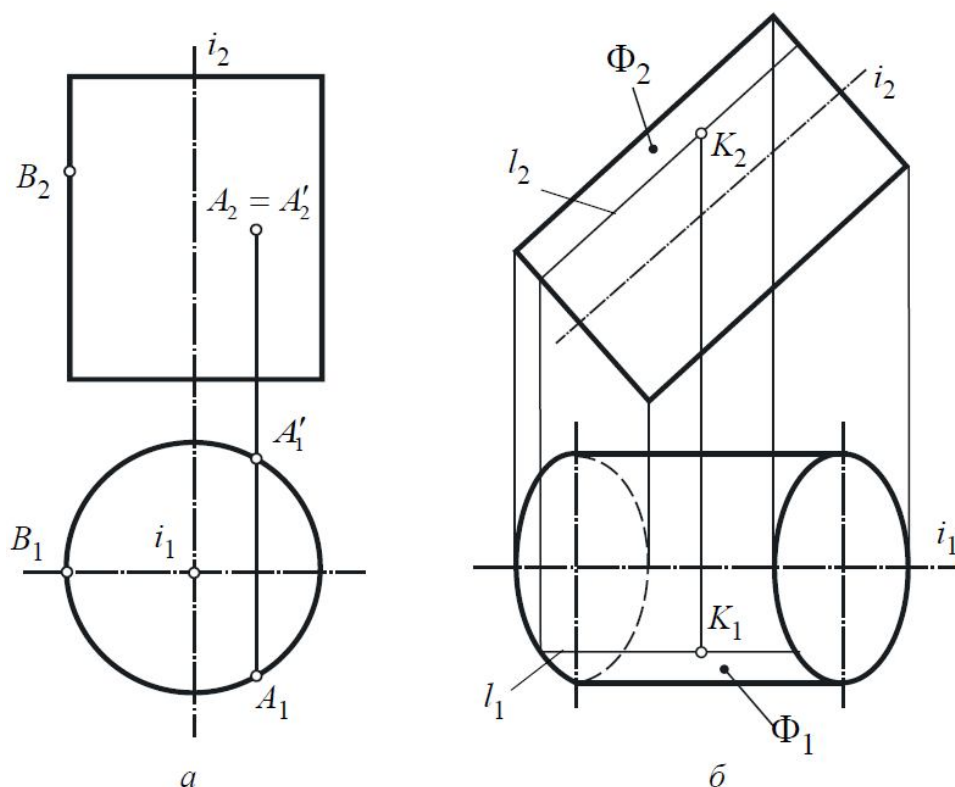


Рисунок 1.26

На рисунку 1.26, б вісь циліндра – фронталь. Точка **K**, що належить циліндричній поверхні  $\Phi$ , будується по приналежності її твірній **l**:

$$K \in \Phi \Leftrightarrow K \in l \wedge l \subset \Phi.$$

Проекції точок, що належать видимій на кресленні частини поверхні циліндра (точка **A2** на рис. 1.26, а; точки **K1** і **K2** на рис. 1.26, б), видимі.

На рисунку 1.27 зображений прямий круговий конус, утворений обертанням прямої твірної навколо осі, яка перетинається з цією твірною. Вісь конуса – горизонтально-проєктувальна пряма. Лінія видимого контуру поверхні конуса відносно площини  $\Pi_2$  (фронтальна її проєкція – трикутник, горизонтальна проєкція співпадає з горизонтальною віссю) розділяє конічну поверхню на видиму, розташовану ближче до спостерігача, і невидиму. Горизонтальна проєкція поверхні конуса видима. Проекції точок, заданих на поверхні конуса, будуються по приналежності твірним або колам. На рисунку 1.27 горизонтальні проєкції **C1**, **D1** і **F1** точок **C**, **D** і **F** видимі, фронтальні проєкції **C2** і **D2** видимі, **F2** – невидима.

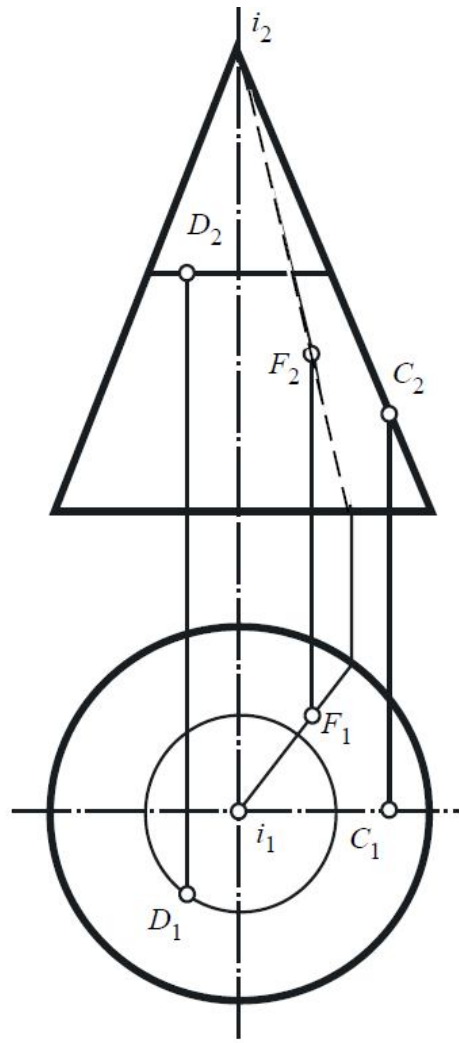


Рисунок 1.27

Сфера утворюється обертанням кола навколо одного з її діаметрів. Нарисом фронтальної проекції сфери є проекція  $\Pi_2$  головного меридіану  $\mathbf{n}$ ; нарисом горизонтальної проекції сфери – проекція  $\mathbf{m}_1$  екватора  $\mathbf{m}$ , (рис. 1.28). Межами видимості на сфері відносно площин проекцій є відповідні лінії видимого контуру (рис. 1.24).

На фронтальній площині проекцій видима передня частина поверхні сфери; на горизонтальній проекції – верхня частина поверхні, (рис. 1.28). На кресленні побудова проекцій точок, що належать поверхні сфери, виконується з допомогою паралелей, яким належать точки. На рисунку 1.28 усі проекції точки  $\mathbf{K}$  видимі. Фронтальна і горизонтальна проекції точки  $\mathbf{M}$ , а також горизонтальна проекція точки  $\mathbf{N}$  видимі, а проекції  $\mathbf{N}_2$ ,  $\mathbf{N}_3$  і  $\mathbf{M}_3$  точок  $\mathbf{M}$  і  $\mathbf{N}$  невидимі.

Усі розглянуті вище поверхні обертання: циліндр, конус, сфера – є поверхнями другого порядку.

Тор утворюється обертанням кола навколо осі, що лежить в площині кола, але не проходить через її центр. Вісь обертання тора може перетинати коло, (рис. 1.29, а), торкатися її, (рис. 1.29, б) і розташовуватися поза колом, (рис. 1.29, в). У перших двох випадках тор називається **закритим**, в останньому – **відкритим** або кільцем. Тор – це поверхня четвертого порядку.

Для циліндра (рис. 1.26), конуса (рис. 1.27) і тора (рис. 1.29) зворотним є креслення, що містить дві проекції (одну з них обов'язково на площину, перпендикулярну осі

обертання). Форму сфери дві проєкції не визначають. На рисунку 1.23, в наведені два варіанти третіх проєкцій (можливі й інші рішення).

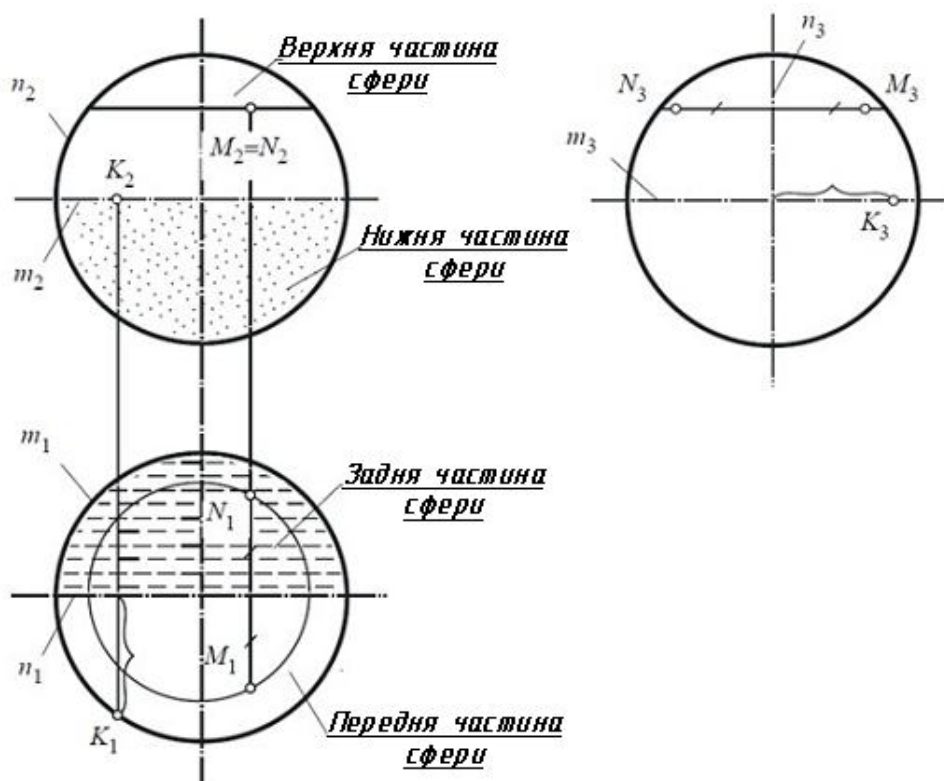


Рисунок 1.28

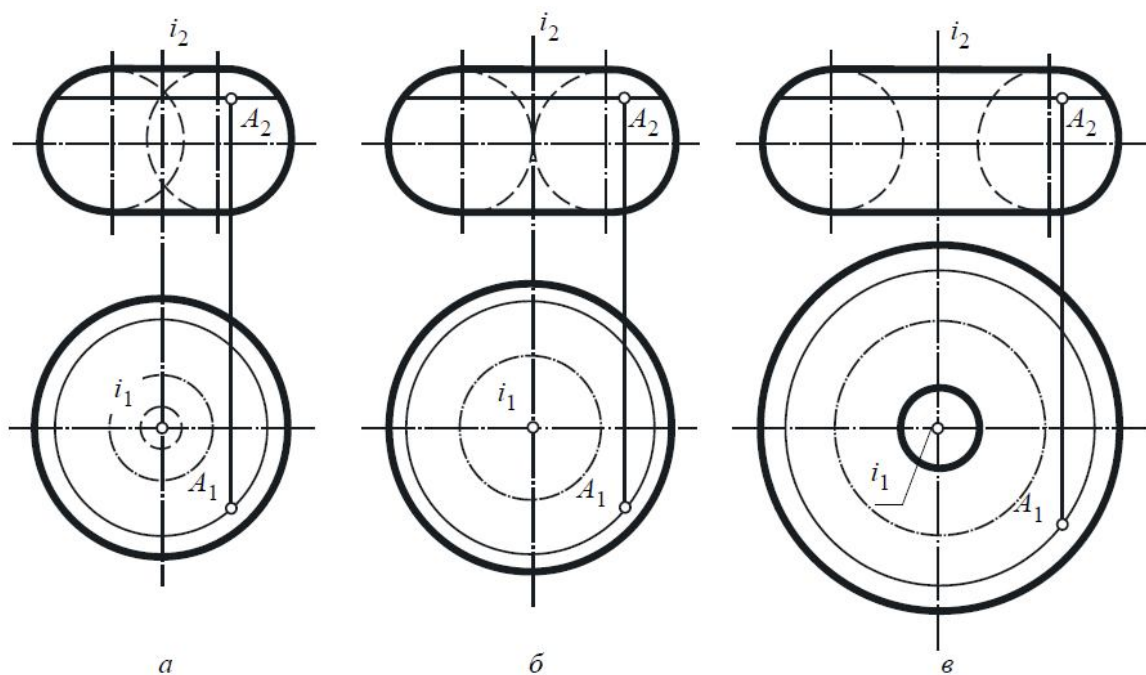


Рисунок 1.29

Зворотним є трипроєкційний кресленик сфери. У разі вживання умовних знаків і написів відповідно до ГОСТ 2.307-68 кількість проєкцій може бути зменшена: знак діаметра  $\varnothing$  свідчить про те, що зображений предмет є тілом обертання; знак **О** перед позначенням **R** або  $\varnothing$  – про те, що поверхня сферична (рис. 30). Прямий круговий циліндр

і прямий круговий конус задаються діаметром основи і висотою, (рис. 1.30, а, б); сфера – діаметром або радіусом  $R$  твірного кола, а тор – діаметрами твірного кола і найбільшої паралелі, (рис. 1.30, в, г).

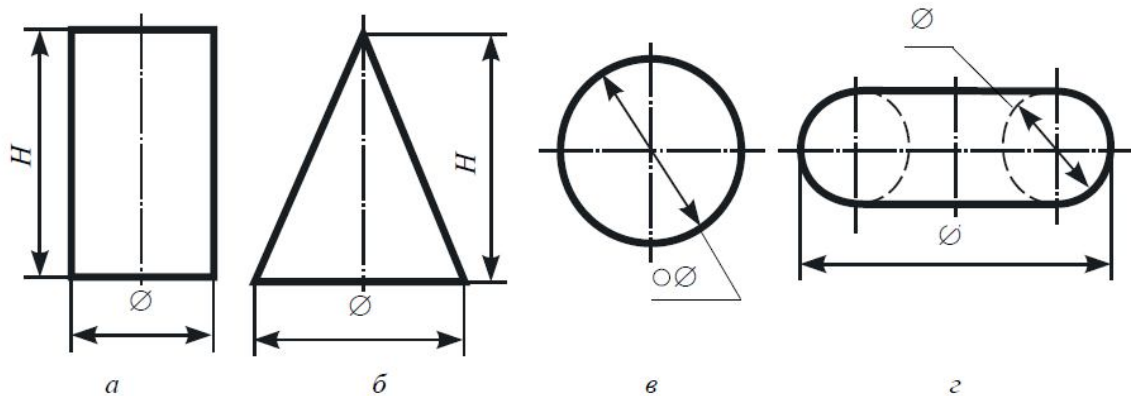


Рисунок 1.30

**Задача.** Побудувати відсутні проекції точок **A**, **B**, **C**, **D**, що належать комбінованій поверхні. Задані проекції **A**<sub>1</sub>, **D**<sub>1</sub>, **B**<sub>2</sub>, **C**<sub>2</sub> точок видимі (рис. 1.31, а).

**План розв'язання:**

- 1) визначити, які поверхні утворюють цей предмет;
- 2) вибрати графічно просту лінію поверхні (коло або пряму), що проходить через задану точку;
- 3) побудувати проекції цієї лінії;
- 4) побудувати шукані проекції заданої точки.

**Розв'язок.** Задана комбінована поверхня є поєднання зрізаного конуса і частини сфери. Точки **A** і **B** належать конічній поверхні. Побудову проекцій **A**<sub>2</sub> і **A**<sub>3</sub> точки **A** виконаємо по приналежності цієї точки прямолінійній твірній конуса. Для побудови проекцій **B**<sub>1</sub> і **B**<sub>3</sub> через точку **B** потрібно провести паралель конуса.

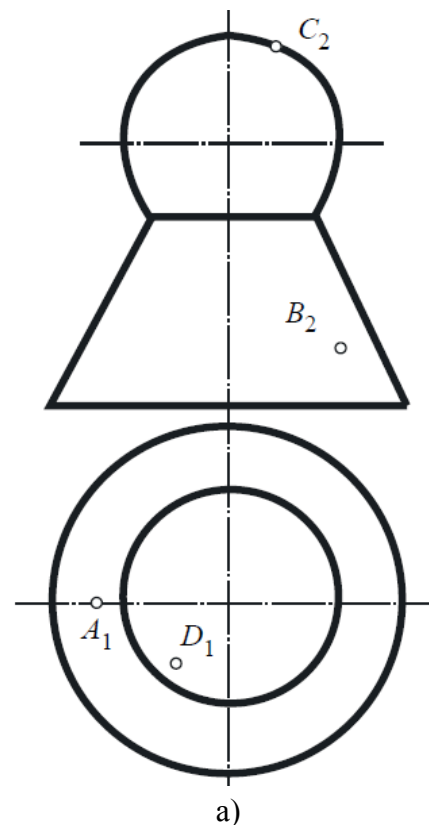
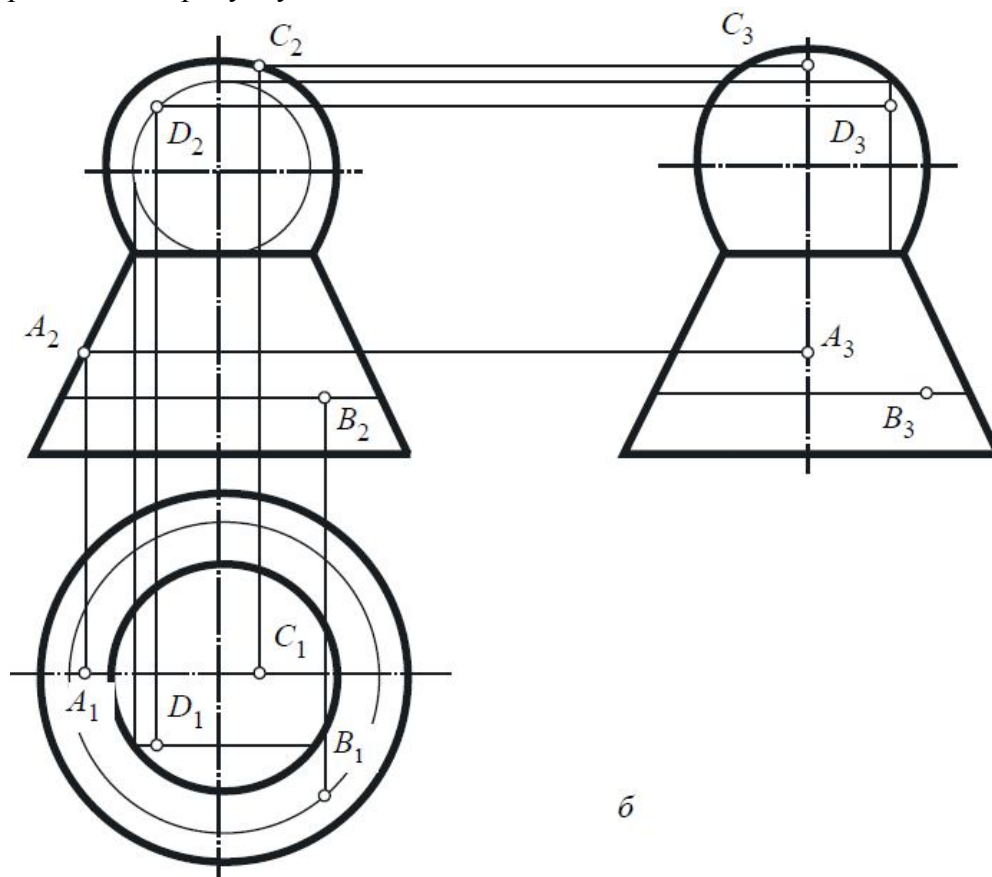


Рисунок 1.31



Продовження рисунку 1.31



б

Точки **C** і **D** належать поверхні сфери. Проекції **C<sub>1</sub>** і **C<sub>3</sub>** побудуємо по приналежності точки **C** головному меридіану сфери. Для побудови проєкцій **D<sub>2</sub>** і **D<sub>3</sub>** потрібно провести паралель сфери, що проходить через точку **D** і паралельну фронтальній площині проєкцій.

Побудови на кресленні (рис. 1.31, б) виконуємо відповідно до пп. 3 і 4 плану.

### 1.3 Побудова зображень предмета як поєднання простих геометричних фігур. Види згідно з ГОСТ 2.305–68.

#### Вибір головного виду

Для того щоб під час виконання креслень уявити форму предмета рекомендується подумки розчленувати його на прості геометричні фігури.

Наприклад, предмет, поданий на рисунку 1.32, а, складається з призми **I** (основа), циліндра **II**, півсфери **III**, призми **IV** і **V** (ребра). Щоб виконати креслення цього предмета, необхідно зображувати кожну з фігур, що складають предмет, у трьох проєкціях, враховуючи водночас проєкційний зв'язок, (рис. 1.32, б).

Залежно від змісту зображення поділяються на **види, розрізи, перерізи**. **Вид** – це зображення зверненої до спостерігача видимої частини поверхні предмета. Стандарт встановлює такі назви видів: **вид спереду** – **1** (головний вид); **вид зверху** – **2**; **вид ліворуч** – **3**; **вид праворуч** – **4**; **вид знизу** – **5**; **вид ззаду** – **6**, (рис. 1.33).

Головний вид потрібно вибирати так, щоб він давав якнайповніше уявлення про форму і розміри предмета, тобто креслення має бути зворотним. Головний вид відповідає такому розташуванню предмета, за якого максимальна кількість геометричних фігур, що

утворюють предмет, мають осі обертання, паралельні фронтальній площині проєкцій, а площина основи предмета паралельна горизонтальній площині проєкцій.

Креслення (рис. 1.32, б) предмета, поданого на рисунку 1.32, а, складене з трьох зображень: головного виду, вигляду зверху і виду ліворуч. Головний вид вибраний по стрілці А, оскільки він дає якнайповніше уявлення про форму предмета.

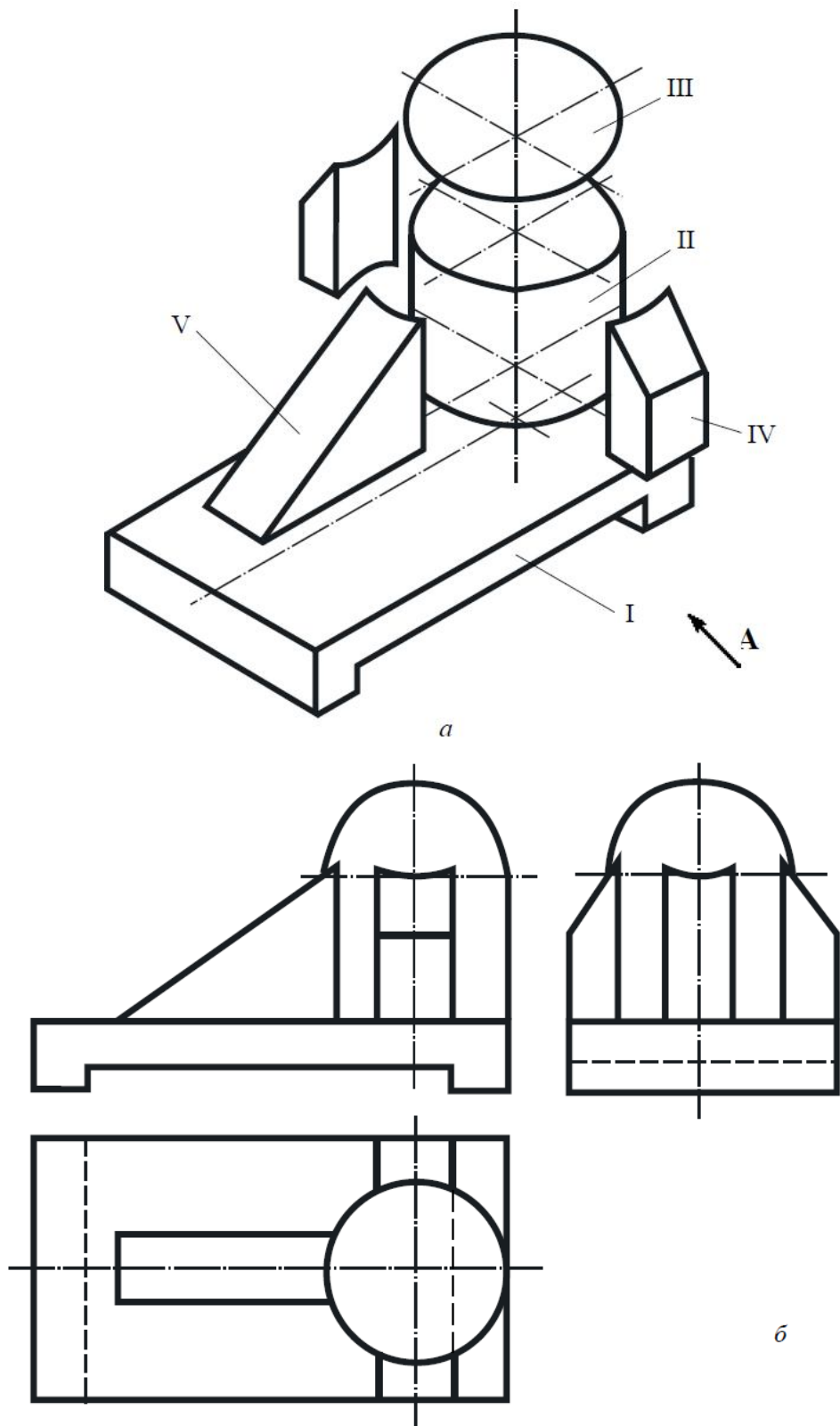


Рисунок 1.32



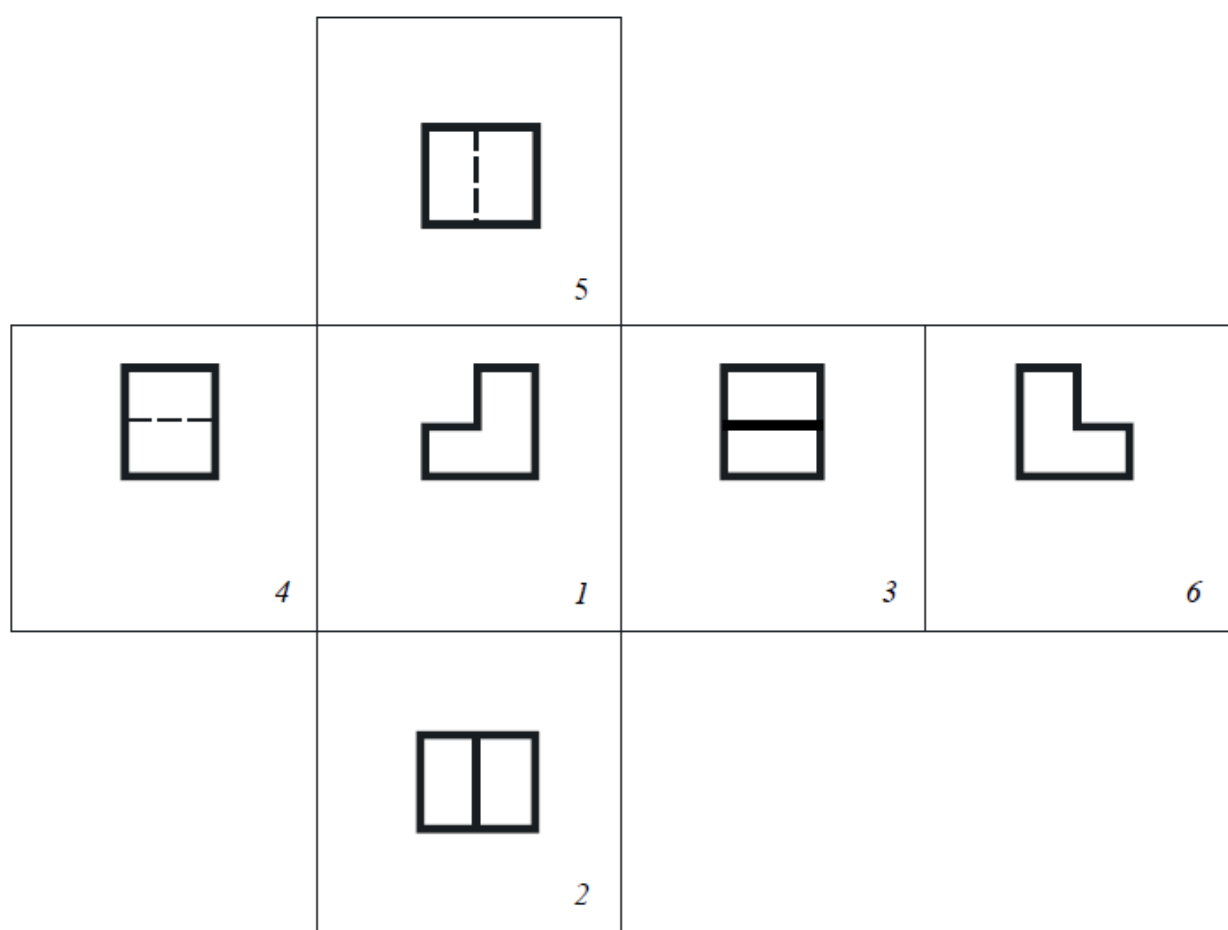
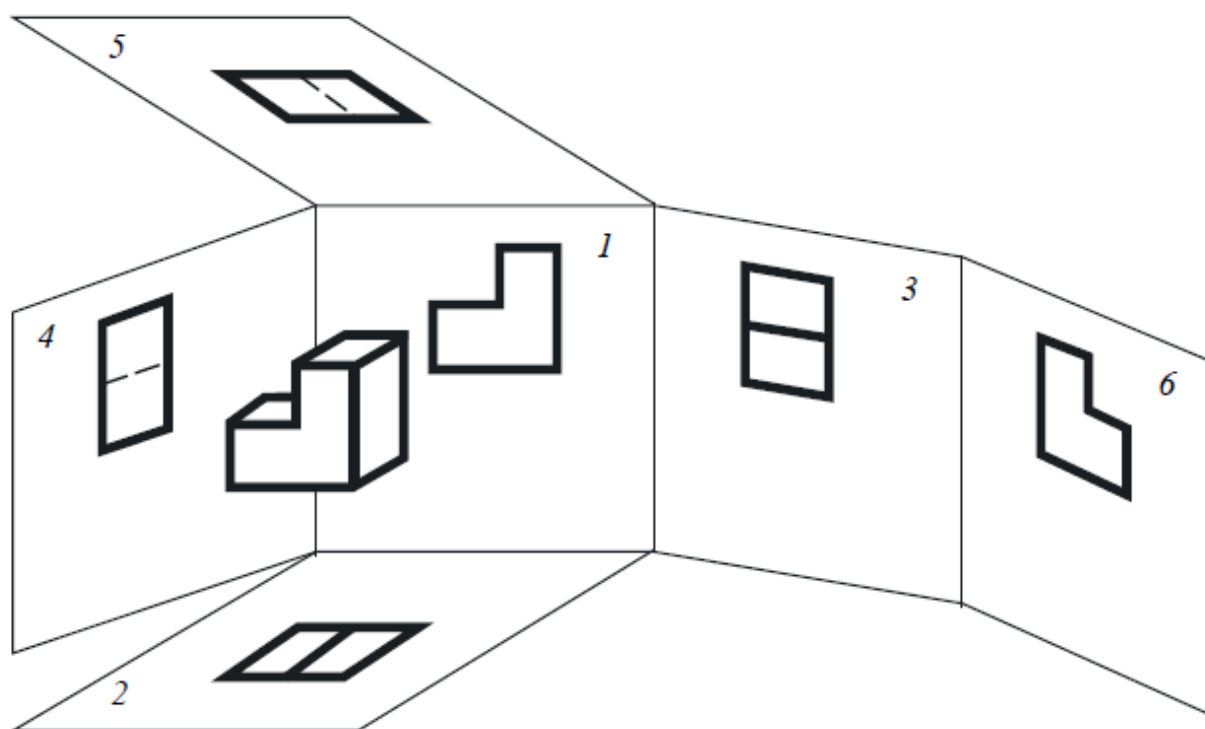


Рисунок 1.33

## 2 ВЗАЄМНЕ ПОЛОЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФІГУР. ВИЗНАЧЕННЯ ЇХНІХ СПІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (ПОЗИЦІЙНІ ЗАДАЧІ)

Задачі, у яких визначається взаємне положення або спільні елементи геометричних фігур, називаються **позиційними**. До позиційних належать також вже розглянуті задачі на приналежність точки лінії, точки і лінії поверхні.

### 2.1 Взаємне положення прямих

Дві прями в просторі можуть бути **паралельними**, такими, що **перетинаються** і **мимобіжними**.

1. **Прямі паралельні.** Правило для побудови комплексного креслення паралельних прямих витікає з четвертої властивості ортогонального проектування: проєкції паралельних прямих паралельні. Якщо прямі в просторі паралельні, то на кресленні їхніх однойменні проєкції паралельні (рис. 2.1)

$$a \parallel b \Rightarrow a_1 \parallel b_1 \wedge a_2 \parallel b_2 .$$

Для прямих загального стану справедливе і зворотне твердження:

$$a_1 \parallel b_1 \wedge a_2 \parallel b_2 \Rightarrow a \parallel b .$$

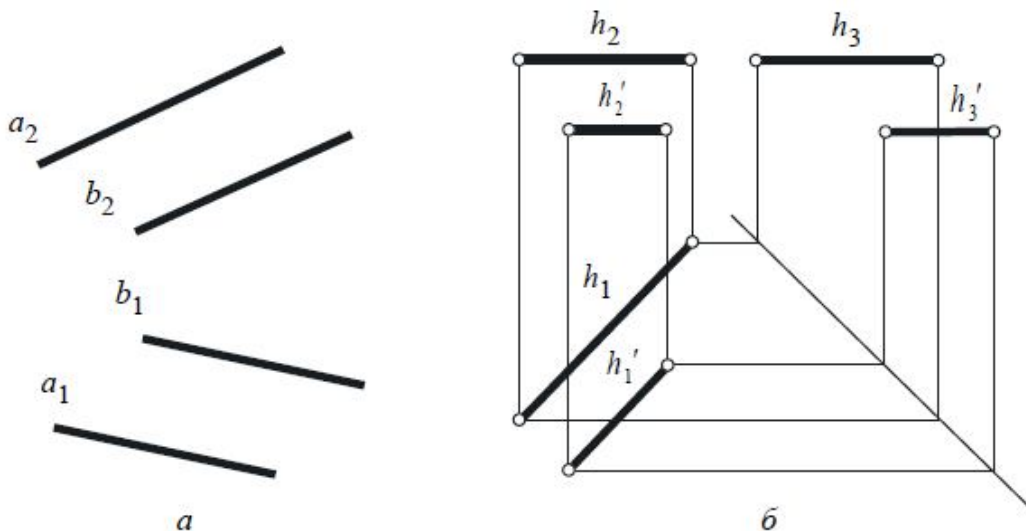


Рисунок 2.1

Отже, для того, щоб оцінювати за кресленням паралельність двох прямих загального положення, достатньо мати будь-яку пару проєкцій кожної з них. Лінії рівня паралельні, якщо їхні проєкції на паралельну їм площину проєкцій паралельні. Наприклад, горизонталі **h** і **h'**, (рис. 2.1, б) паралельні, оскільки паралельні їхні проєкції **h<sub>1</sub>** і **h'<sub>1</sub>'**; відрізки профільних прямих **[AB]** і **[CD]** (рис. 2.2, а) паралельні, оскільки **[A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>]**  $\parallel$  **[C<sub>3</sub>D<sub>3</sub>]**; відрізок **[EF]** непаралельний **[KL]**, оскільки відрізок **[E<sub>3</sub>F<sub>3</sub>]** непаралельний відрізку **[K<sub>3</sub>L<sub>3</sub>]**, (рис. 2.2, б).

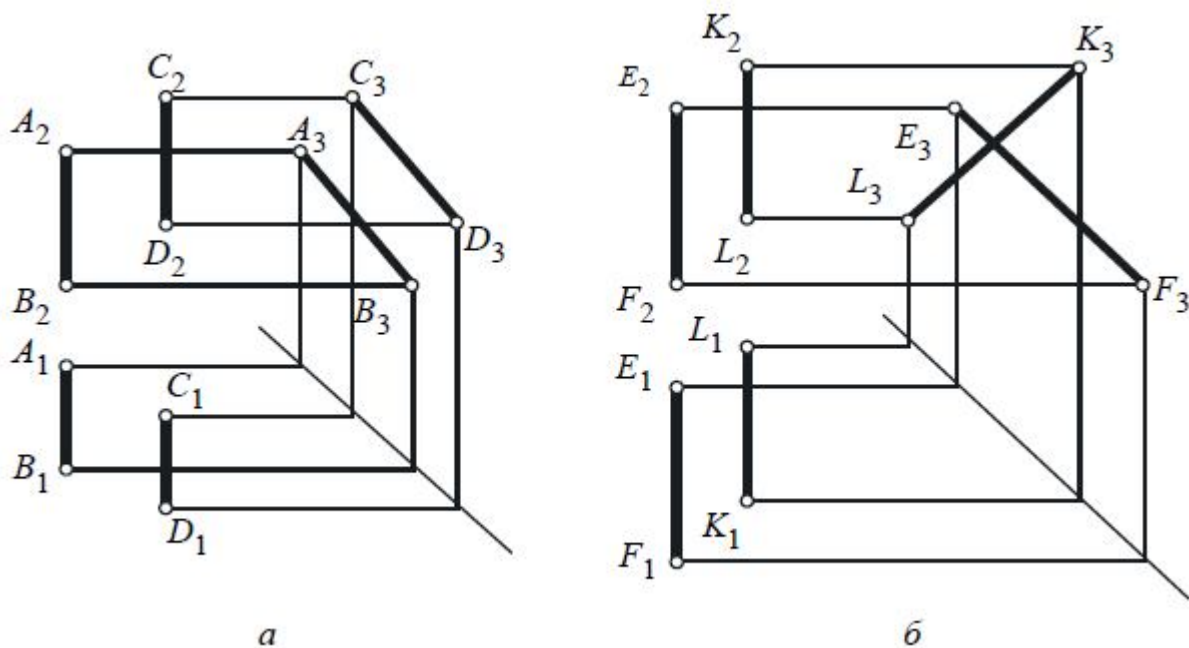


Рисунок 2.2

**2. Прямі що перетинаються.** Правило для побудови комплексного креслення прямих що перетинаються між собою витікає з шостої властивості ортогонального проектування: точка перетину ліній проектується в точку перетину їх проекцій, (рис. 2.3) :

$$c \cap d = K \Rightarrow c_1 \cap d_1 = K_1 \wedge c_2 \cap d_2 = K_2,$$

причому точки  $K_1$  і  $K_2$  належать одній лінії проекційного зв'язку.

**3. Прямі мимобіжні.** Прямі непаралельні і які не перетинаються між собою називаються мимобіжними. Один з можливих варіантів мимобіжних прямих, показаний на рис. 2.4, де  $l \div m$ , оскільки  $l$  непаралельна і не перетинає  $m$ .

Точка перетину горизонтальних проекцій мимобіжних прямих є горизонтальною проекцією двох горизонтально конкуруючих точок **1** і **2**, що відповідно належать прямим  $l$  і  $m$ . Точка перетину фронтальних проекцій мимобіжних прямих, являється фронтальною проекцією двох фронтально конкуруючих точок **3** і **4**. По горизонтально конкуруючим точкам **1** і **2** визначається положення прямих  $l$  і  $m$  відносно  $\Pi_1$ . Фронтальна проекція  $1_2$  точки **1**, що належить прямій  $l$ , розташована вище, ніж фронтальна проекція  $2_2$  точки **2**, що належить прямій  $m$  (проекція на пряму погляду показана стрілкою), отже точка **1** вище за точку **2**, і тому пряма  $l$  розташована над прямою  $m$ . По фронтально конкуруючим точкам **3** і **4** визначається положення прямих  $l$  і  $m$  відносно площини  $\Pi_2$ .

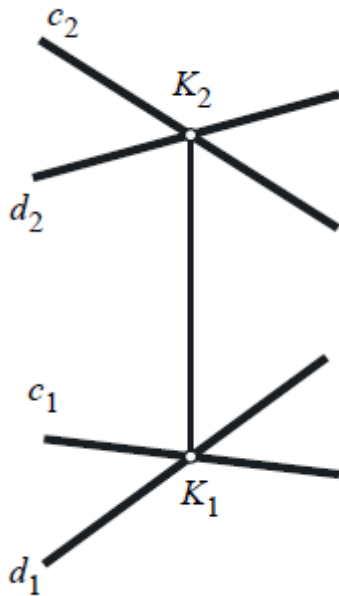


Рисунок 2.3

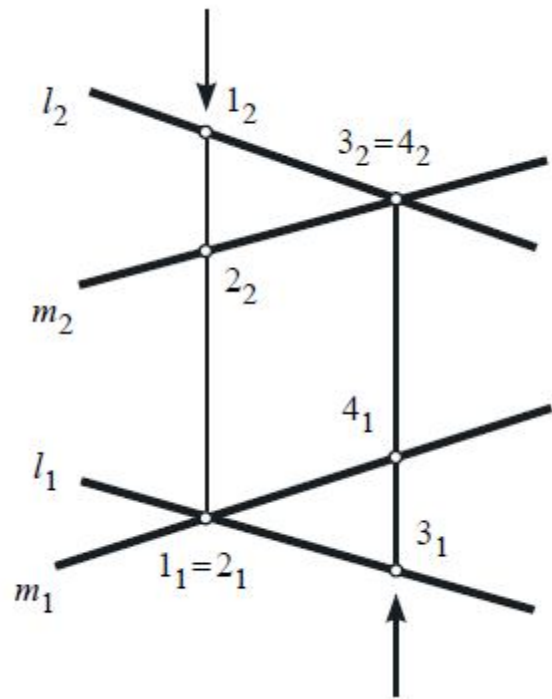


Рисунок 2.4

Горизонтальна проекція  $3_1$  точки  $3$ , що належить прямій  $l$ , розташована нижче, ніж горизонтальна проекція  $4_1$  точки  $4$ , що належить прямій  $m$  (проекція напряму погляду показана стрілкою), отже точка  $3$  розташована перед точкою  $4$ , тому пряма  $l$  розташована перед прямою  $m$ .

## 2.2 Про визначення спільних елементів геометричних фігур з умов приналежності

**Задача.** Побудувати точку перетину прямої лінії з проєктуючою площиною.

Задані горизонтально-проєктуюча площина  $\Gamma$  і пряма  $m$  загального положення, (рис. 2.5). Точка  $K$  перетину прямої  $m$  з площиною  $\Gamma$  належить одночасно і прямій  $m$ , і площині  $\Gamma$ , отже  $K_1 \in \Gamma_1 \wedge K_1 \in m_1$ , тобто  $K_1 = \Gamma_1 \cap m_1$ ; точка  $K_2$  знаходиться на лінії проєкційного зв'язку за умови, що  $K_2 \in m_2$ .

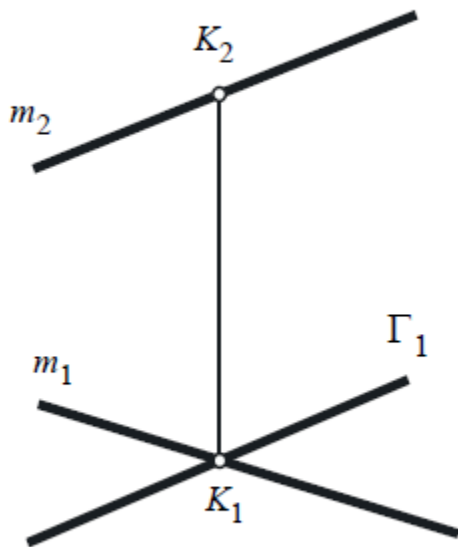


Рисунок 2.5

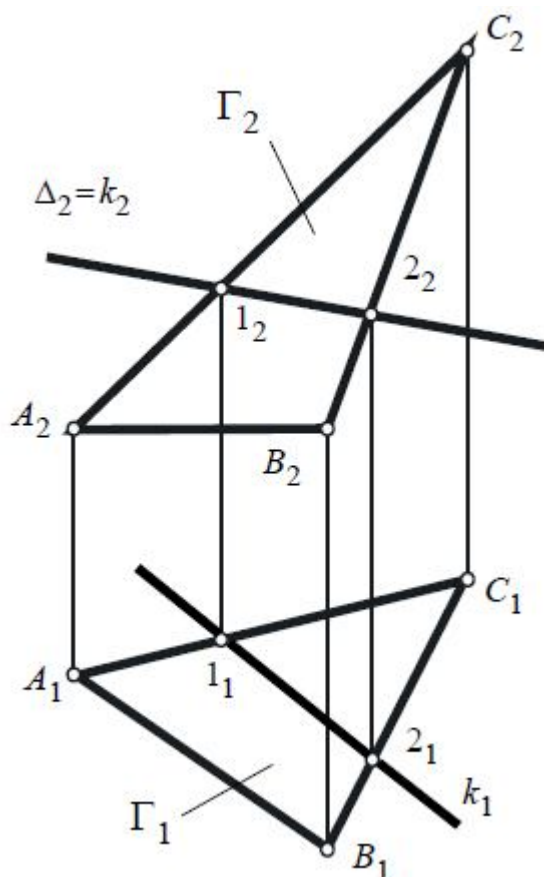


Рисунок 2.6

**Задача.** Побудувати лінію перетину площини загального положення з проєктуючою площиною.

Задані площина  $\Gamma$  ( $ABC$ ) загального положення і фронтально-проєктуюча площина  $\Delta$ , (рис. 2.6). Шукана лінія  $k$  перетину двох площин  $\Gamma$  і  $\Delta$  є прямою, отже, визначається двома точками. Для побудови лінії  $k = \Gamma \cap \Delta$  знаходимо точки:  $1 = AC \cap \Delta$ ,  $2 = BC \cap \Delta$ .

$1_2 = A_2C_2 \cap \Delta_2$ ;  $1_1 \in A_1C_1$ ;  $2_2 = B_2C_2 \cap \Delta_2$ ;  $2_1 \in B_1C_1$ .

$k_1 (1_1-2_1)$ ;  $k_2 (1_2-2_2) = \Delta_2$ .

**Задача.** Побудувати лінію перетину двох проєктуючих площин.

Задані дві фронтально-проєктуючі площини:  $\Delta$  і  $\Gamma$  (рис. 2.7). Лінія їх перетину – фронтально-проєктуюча пряма  $k$ .  $k_2 = \Delta_2 \cap \Gamma_2$ , а  $k_1$  співпадає з лінією проєкційного зв'язку.

**Задача.** Побудувати точку перетину проєктуючої лінії з площиною загального положення.

Задані площина  $\theta$  ( $KLM$ ) загального положення і горизонтально-проєктуюча пряма  $g$ , (рис. 2.8). Точка  $G$  їх перетину одночасно належить площині  $\theta$  і лінії  $g$ , отже, належить будь-якій прямій  $l$ , проведеної у площині  $\theta$  і яка перетинає лінію  $g$ . На рис. 2.8  $l \subset \theta \wedge l \cap g$ . Оскільки  $g \perp \Pi_1$ , то  $G_1 = g_1$ , а  $G_2 = l_2 \cap g_2$ .

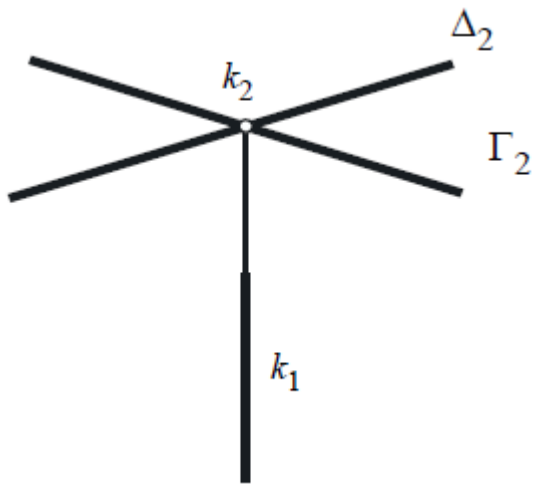


Рисунок 2.7

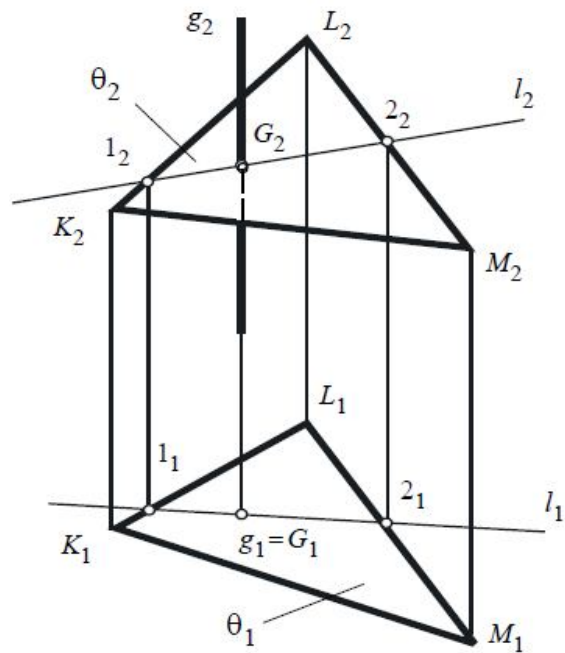


Рисунок 2.8

## 2.3 Перетин поверхонь з проектуючою площиною і прямою лінією

Лінія перетину поверхні з площиною являє собою плоску замкнуту лінію. При проектуючій січній площині одна проекція лінії перетину співпадає з проекцією січної площини, а друга проекція будується по точках. При цьому, спочатку будують опорні точки, а також точки на ребрах, а потім, якщо необхідно, проміжні точки. Знайдені точки сполучають з урахуванням видимості і характеру лінії перерізу.

### 2.3.1 Перетин многогранника з проектуючою площиною

Лінія перетину многогранника з площиною являється плоскою ламаною лінією, вершини якої – точки перетину ребер, а сторони – лінії перетину граней многогранника з площиною.

На рисунку 2.9 показана побудова лінії перетину прямої шестигранної призми з проектуючою площиною  $\Sigma$ . Фронтальні проекції  $1_2, 2_2, 3_2 \dots$  точок перетину ребер призми з площиною знаходяться в точках перетину фронтальних проекцій ребер і фронтальної проекції площини. Горизонтальні проекції  $1_1, 2_1, 3_1 \dots$  точок співпадають з горизонтальними проекціями ребер.

Таким чином, фронтальна проекція шуканої лінії – відрізок  $1_2 4_2$ , а горизонтальна проекція – шестикутник  $1_1 2_1 3_1 4_1 5_1 6_1$ . Профільні проекції точок знаходяться по лініях проекційного зв'язку на профільних проекціях ребер.

На рисунку 2.10 показано завдання на побудову лінії перетину піраміди з горизонтально-проекуючою площиною.

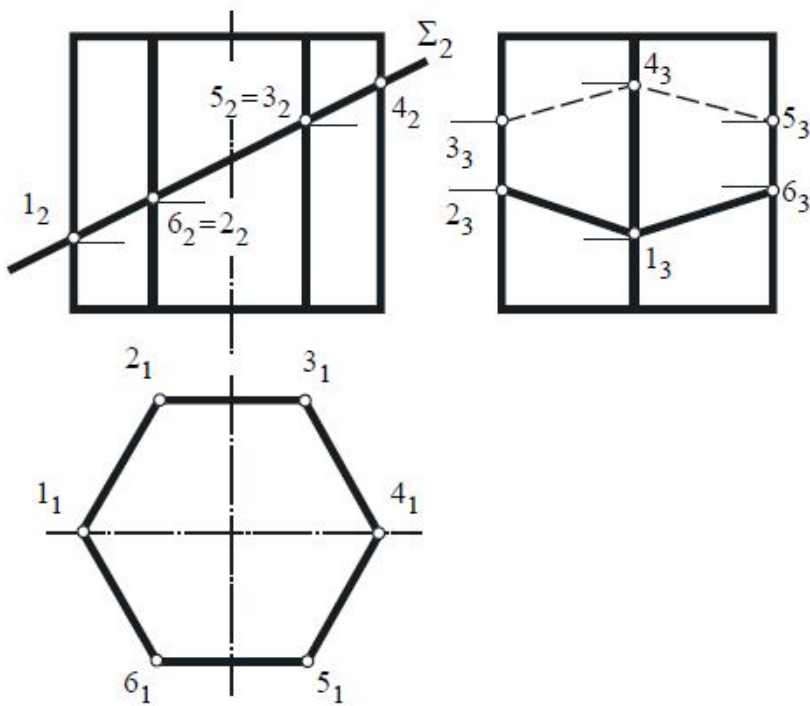


Рисунок 2.9

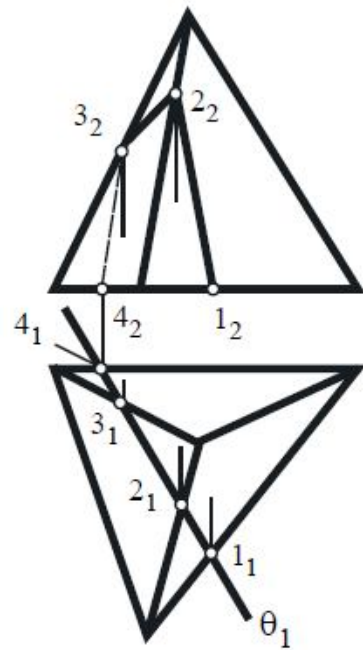


Рисунок 2.10

### 2.3.2 Перетин поверхні обертання з проектуючою площиною

Лінія перетину кривої поверхні з площиною є плоска крива. Для побудови цієї кривої визначають точки перетину ряду твірних поверхні з січною площиною. До опорних точок лінії відносяться:

- екстремальні точки (вища і нижча відносно  $\Pi_1$ , ближня і далека; відносно  $\Pi_2$ ), а також нарисові (проекції яких належать нарисам;
- горизонтальної і фронтальної проекцій фігур), в даних завданнях;
- вони одночасно є точками зміни видимості.

Розглянемо перетин циліндра обертання з площиною. Якщо січна площина перетинає усі твірні поверхні і не перпендикулярна осі обертання, (рис. 2.11, а), то лінія перетину – **еліпс**. На кресленні (рис. 2.12) площина  $\Gamma$  непаралельна осі  $i$  та перетинає циліндр по еліпсу. На площину  $\Pi_2$  еліпс проектується у відрізок  $A_2B_2 = \Gamma_2$ ; на площину  $\Pi_1$  – в коло, співпадаюче з проекцією циліндричної поверхні; на площину  $\Pi_3$  – в еліпс. Профільні проекції точок, що належать еліпсу, будуються по двох заданим (горизонтальної і фронтальної).

Насамперед визначають профільні проекції вищої і нижчої точок (**A** і **B**), нарисових відносно  $\Pi_3$  (**C** і **D**), а потім – проміжних, наприклад, **1** і **2**. З'єднавши отримані точки плавною кривою з урахуванням видимості, отримаємо еліпс, що є профільною проекцією фігури перерізу.

Якщо січна площина перпендикулярна осі обертання (рис. 2.11, б), то лінія перетину – **коло**. На кресленні (рис. 2.12) площина  $\Delta \perp i$ , отже, перетинає циліндр по колу. На площині  $\Pi_2$  і  $\Pi_3$  коло проектується у відрізки прямої, співпадаючі з відповідною проекцією січної площини. На  $\Pi_1$  проекція кола перерізу співпадає з проекцією циліндричної поверхні.

Якщо січна площина паралельна твірним поверхні (рис. 2.11, в), то в перетині виходять прямі лінії – **твірні**. На кресленні (рис. 2.12) площина  $\Sigma \parallel i$ . Проекції твірних на площину  $\Pi_2$  співпадають із проекцією площини, а на площину  $\Pi_1$  проектуються в точки, які належать колу, що є проекцією циліндричної поверхні. По двох проекціях (горизонтальній і фронтальній) побудована третя проекція твірних.

Під час перетину конуса обертання з площиною можна отримати всі види кривих другого порядку: **еліпс**, **параболу** і **гіперболу**.

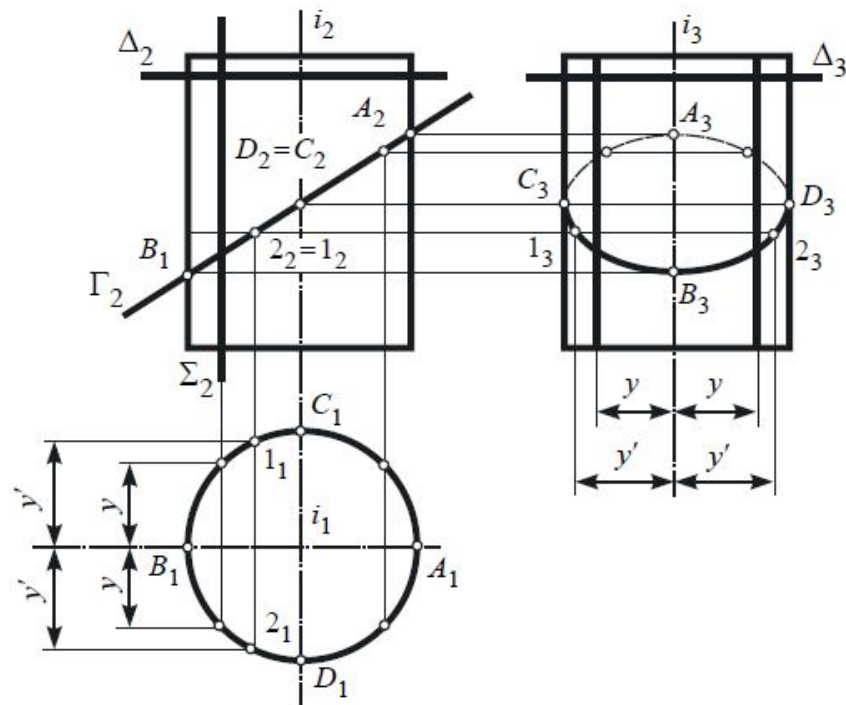


Рисунок 2.11

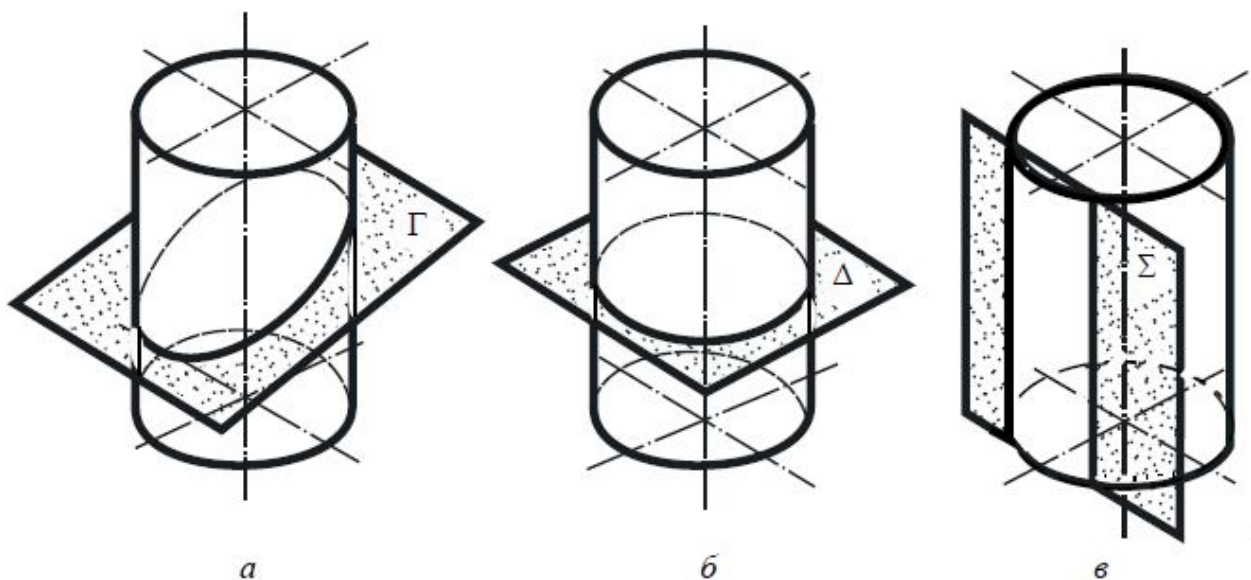


Рисунок 2.12

Якщо площина  $\Sigma$  (рис. 2.13, а) перетинає усі твірні конуса, то в перерізі виходить еліпс. У окремому випадку, коли площина займе положення  $\Sigma'$ , перпендикулярне осі конуса обертання, виходить **коло**.



Якщо площина  $\Sigma$  паралельна одній твірній  $l$  конуса (рис. 2.13, б), то в перерізі виходить **парабола**.

Якщо площина  $\Sigma$  паралельна двом твірним  $l$  і  $l'$  конуса (рис. 2.13, в), то в перерізі виходить **гіпербола**. У окремому випадку, коли площина  $\Sigma$ , переміщуючись паралельно самій собі, займе положення  $\Sigma'$  (пройде через вершину конуса), гіпербола вироджується в пару прямих, що перетинаються (рис. 2.13, в).

Фронтальні проекції еліпса (рис. 2.13, а), параболи (рис. 2.13, б) і гіперболи (рис. 2.13, в) на поверхні конуса співпадають із фронтальними проекціями січних площин. Побудова горизонтальних проекцій точок, що належать еліпсу, параболі та гіперболі, виконані за допомогою твірних або паралелей.

Сферу площина завжди перетинає по **колу**. Залежно від положення січної площини відносно площин проекцій коло може проектуватися в пряму, коло (рис. 2.14) або еліпс (рис. 2.15).

На рисунку 2.15 показана побудова лінії перетину сфери з фронтально-проектувальною площиною  $\Phi$ . Коло перерізу проектується на  $\Pi_2$  як відрізок прямої  $A_2B_2 = \Phi_2$ , а на  $\Pi_1$  – як еліпс який будується по точках. Точки  $A$  і  $B$  є екстремальними відносно  $\Pi_1$ :  $B$  – вища точка,  $A$  – нижча. Фронтальні їхні проекції  $A_2$  і  $B_2$  співпадають із точками перетину фронтальної проекції площини з нарисом фронтальній проекції сфери (проекції головного меридіана). Їхні горизонтальні проекції знаходимо по лініях проекційного зв'язку на горизонтальній проекції головного меридіана. Фронтальні проекції  $M_2$  і  $N_2$  точок  $M$  і  $N$  (точок зміни видимості відносно  $\Pi_1$ ) на перетині  $\Phi_2$  із фронтальною проекцією екватора сфери. Їхні горизонтальні проекції знаходимо по лінії проекційного зв'язку на нарисі горизонтальної проекції сфери (горизонтальна проекція екватора).

Екстремальні відносно  $\Pi_2$  точки  $C$  і  $D$  (найближча і найдальша) визначаються за допомогою загальної площини симетрії  $\Gamma$ , яка проводиться через центр сфери перпендикулярно площині  $\Phi$ . Позначаємо фронтальні проекції  $C_2 = D_2$  точок  $C$  і  $D$ , які співпадають із точкою перетину  $\Gamma_2$  і  $\Phi_2$ . Для знаходження горизонтальних проекцій  $C_1$  і  $D_1$  точок  $C$  і  $D$  скористаємося паралеллю  $m$  ( $m_1, m_2$ ), що проходить через точки  $C$  і  $D$ . Аналогічно знаходимо проекції проміжних точок. Наприклад, проекції точок  $1$  і  $2$  будуюмо за допомогою паралелі  $n$  ( $n_1, n_2$ ). На  $\Pi_2$  ця паралель проектується в горизонтальну пряму, що перетинає фронтальну проекцію лінії перетину в точці  $1_2 = 2_2$ . Будуюмо горизонтальну проекцію паралелі – коло радіусом  $R$ . У точках перетину цього кола з вертикальними лініями проекційного зв'язку позначаємо проекції  $1_1$  і  $2_1$  точок  $1$  і  $2$ .

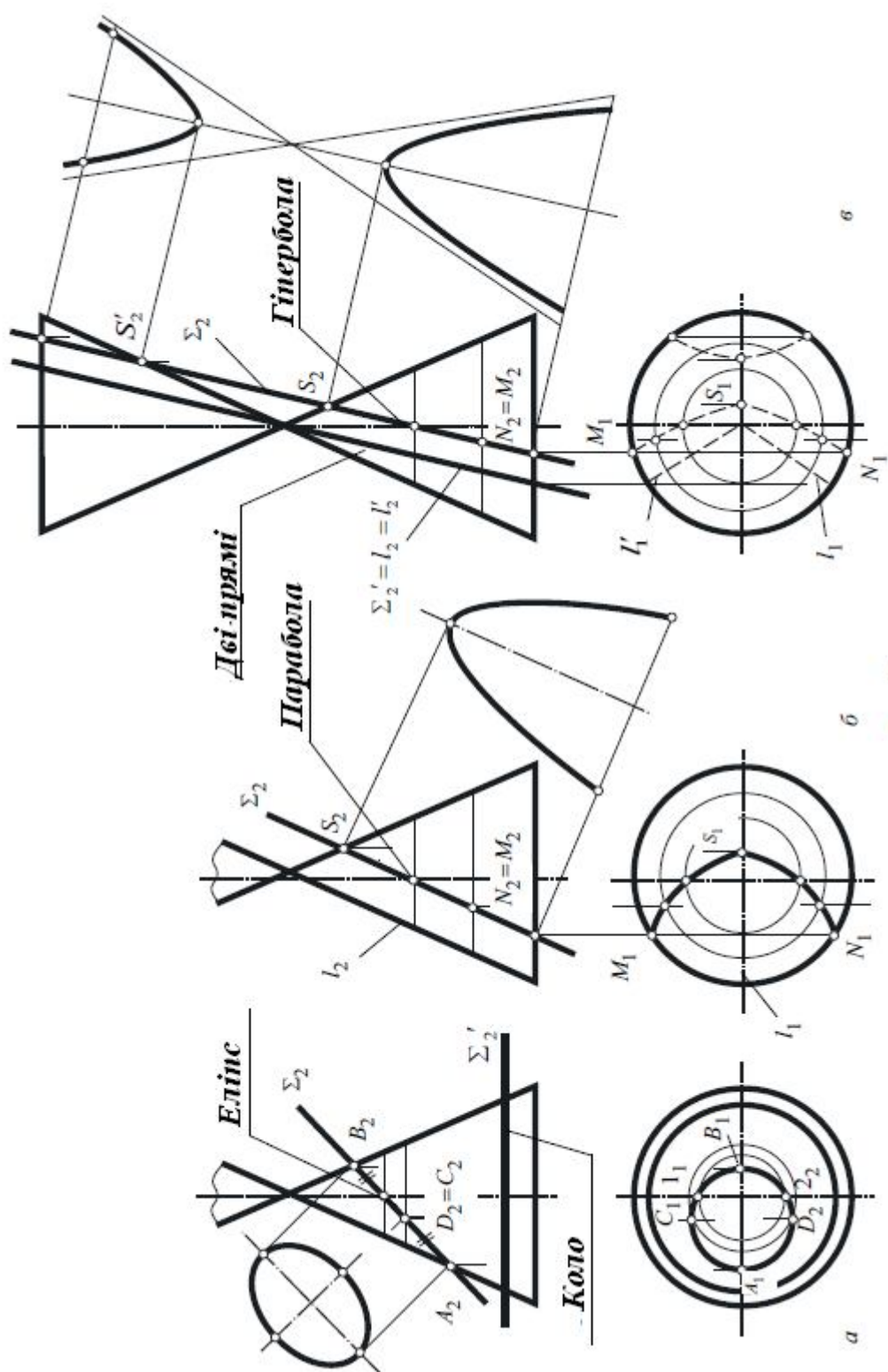


Рисунок 2.13

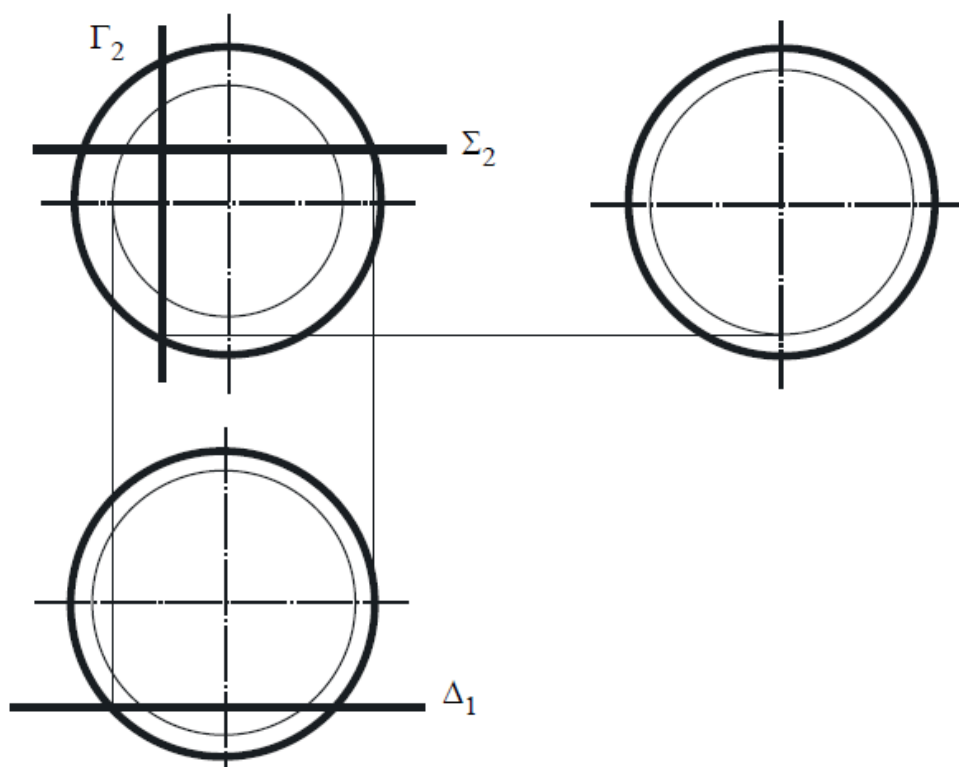


Рисунок 2.14

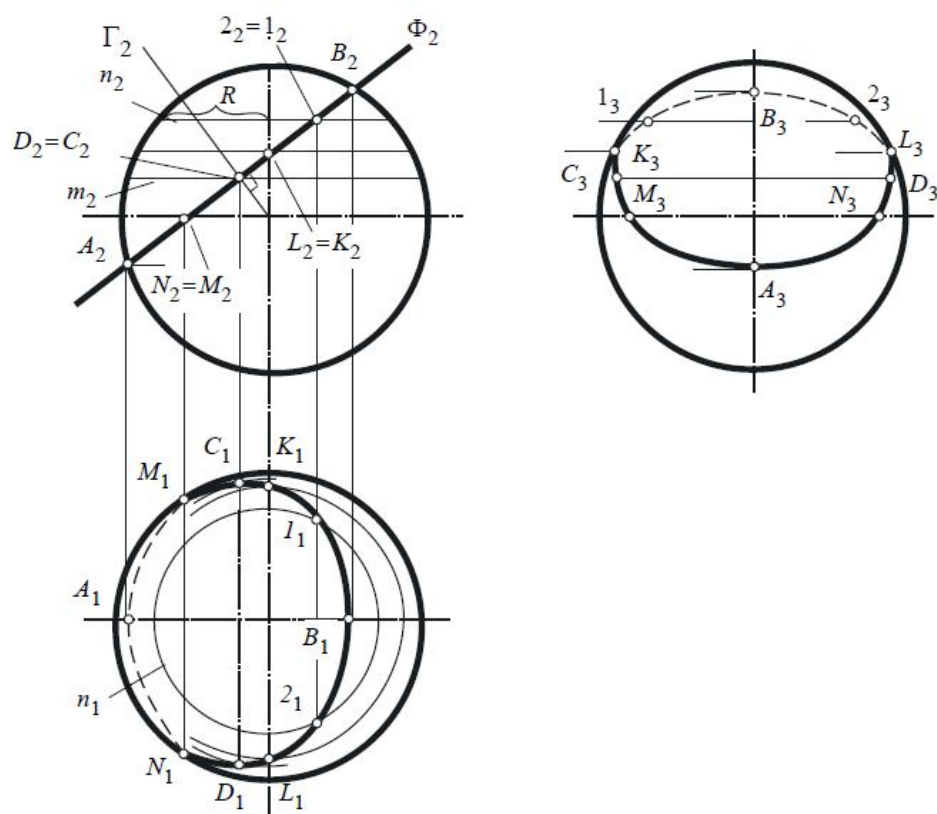


Рисунок 2.15

### 2.3.3 Перетин поверхонь із прямою лінією

Можлива кількість точок перетину поверхні з прямою лінією відповідає порядку поверхні. Наприклад, сферу, конус, циліндр – поверхні другого порядку – пряма лінія може перетинати в двох точках; тор – поверхня четвертого порядку – у чотирьох. Побудова точок перетину поверхонь (незалежно від їх виду) із прямою лінією виконують за такою схемою, (рис. 2.16, а):

- 1) через пряму  $l$  проводять допоміжну січну площину  $\Delta$ ;
- 2) будують лінію  $m$  перетину цієї площини  $\Delta$  із заданою поверхнею  $\Phi$ ;
- 3) позначають точки  $A$  і  $B$  перетину цієї прямої  $l$  з побудованою лінією перетину  $m$ , які є шуканими.

У символічному записі схема має такий вигляд:

- 1)  $\Delta \subset l$ ,
- 2)  $m = \Delta \cap \Phi$ ,
- 3)  $A = (l \cap m) \wedge B = (l \cap m)$ .

Допоміжні січні площини окремого положення переважно дають найбільш просте рішення. Під час розв'язанні задач на перетин прямої лінії з кривою поверхнею допоміжну площину потрібно проводити так, щоб у перерізі вийшли лінії, проєкції яких були б прямими або колом. Видимість проєкцій прямої знаходять за видимістю поверхні або за конкуруючими точками.

**Задача.** Побудувати точки перетину прямої загального положення з пірамідою (рис. 2.16, а).

На підставі загальної схеми складається алгоритм рішення. Алгоритм – сукупність однозначних послідовних операцій, які необхідно виконати для вирішення цього завдання. Схема перетвориться в алгоритм, якщо точно вказати положення допоміжної площини. Як допоміжну площину виберемо горизонтально-проекувальну площину  $\Delta$  (можна вибрати  $\Delta \perp \Pi_2$ ).

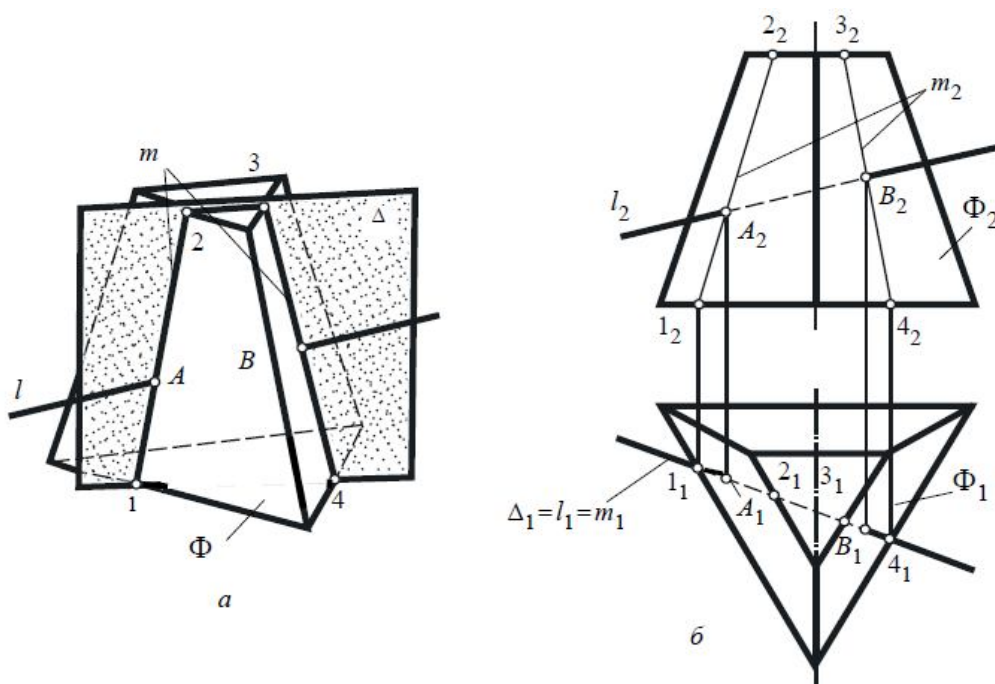


Рисунок 2.16

Алгоритм:

1)  $\Delta \supset l, \Delta \perp \Pi_1$ , тобто через пряму  $l$  проводимо горизонтально–проектувальну площину  $\Delta$ ;

2)  $1-2-3-4-1 = \Phi \cap \Delta$ , тобто визначаємо ланки ламаної лінії перетину поверхні піраміди  $\Phi$  із площиною  $\Delta$ ;

3)  $A = (1-2) \cap l, B = (3-4) \cap l$ , тобто позначаємо точки  $A$  і  $B$  перетину ланок  $(1-2)$  і  $l$ ,  $(3-4)$  і  $l$ , які є шуканими.

Графічна реалізація алгоритму подана на рисунку 2.16, б.

**Задача.** Побудувати точки перетину фронталі з сферою (рис. 2.17).

У цій задачі як допоміжну доцільно застосувати фронтальну площину рівня  $\Sigma \supset f$ , оскільки коло  $m$  перерізу сфери  $\theta$  цією площиною проектується на  $\Pi_2$  у коло.

Алгоритм:

1)  $\Sigma \supset f, \Sigma \parallel \Pi_2$ ;

2)  $m = \theta \cap \Sigma$ ;

3)  $1 = m \cap f \wedge 2 = m \cap f$ .

Виконавши побудови на кресленні (рис. 2.17), визначимо видимість точок перетину і ділянок проекцій прямої. Точка  $1$  належить передній нижній частині сфери (видимою на  $\Pi_2$  і невидимою на  $\Pi_1$ ), тому фронтальна проекція  $1_2$  точки видима, а горизонтальна  $1_1$  невидима. Точка  $2$  належить передній верхній частині сфери (видимій і на  $\Pi_2$ , і на  $\Pi_1$ ), тому фронтальна  $2_2$  і горизонтальна  $2_1$  проекції точки  $2$  на кресленні видимі.

**Задача.** Побудувати точки перетину проектувальних прямих  $k$  і  $d$  із поверхнею конуса (рис. 2.18).

Якщо задана пряма проектувальна, то під час розв’язання задачі на перетин її з поверхнею допоміжні площини переважно не проводять. У цьому випадку побудову проекцій шуканих точок виконують на основі принципу приналежності точки поверхні.

На рисунку 2.18 побудова проекцій точок  $1$  і  $2$  перетину прямої з конусом виконана за допомогою паралелі  $m$  конуса, якій належать шукані точки. Проекції точки  $3$  перетину прямої  $d$  з поверхнею побудовані за приналежністю твірної  $l$  конусу.

На рисунку 2.19 подана побудова точок перетину прямої лінії з проектувальними поверхнями циліндра і призми. Шукані точки перетину визначені без додаткових побудов.

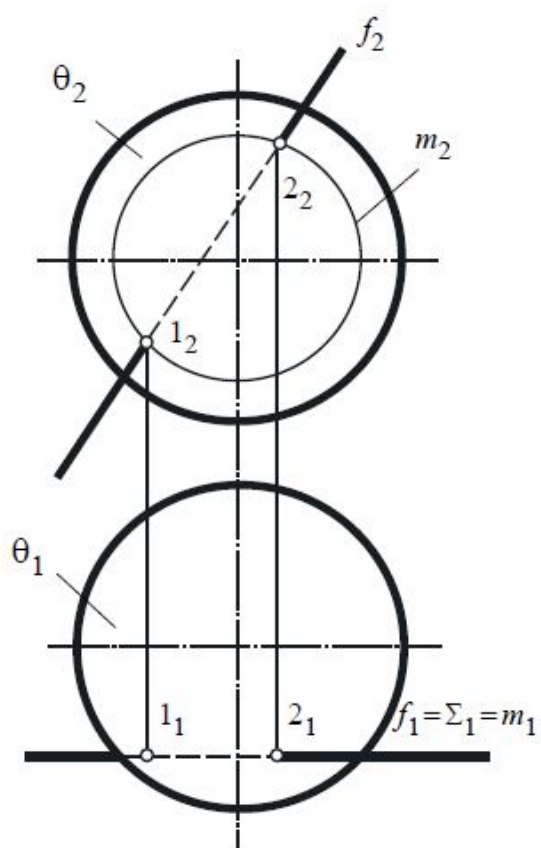


Рисунок 2.17

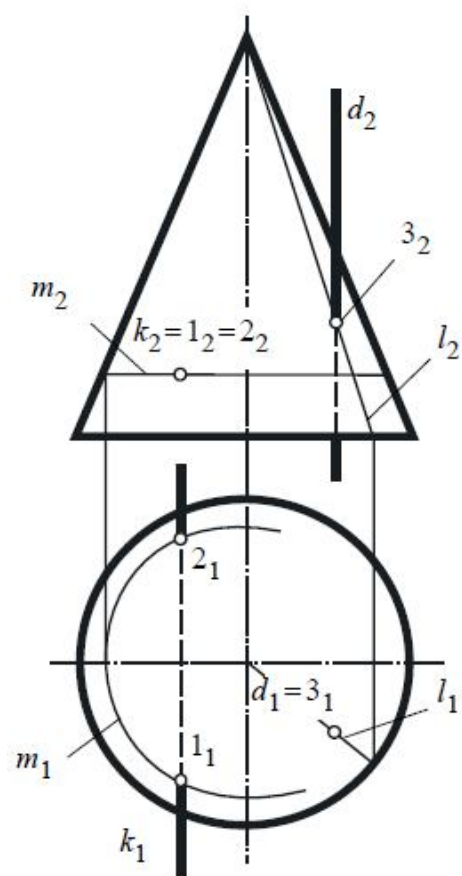


Рисунок 2.18

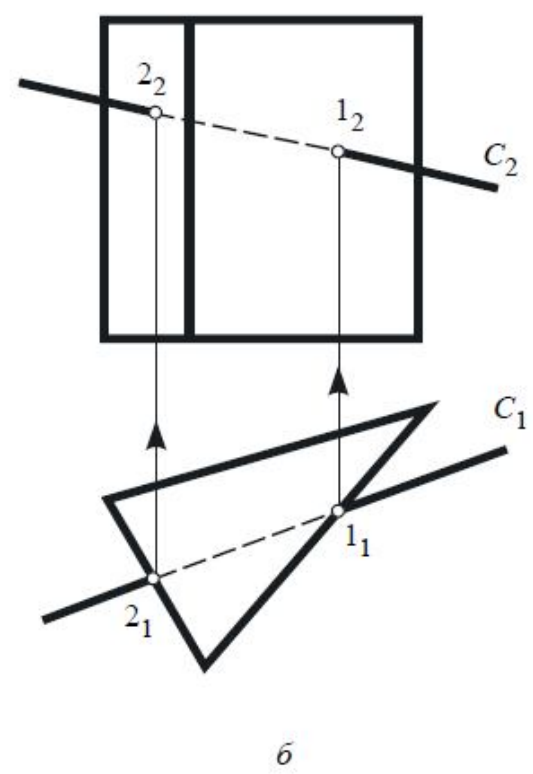
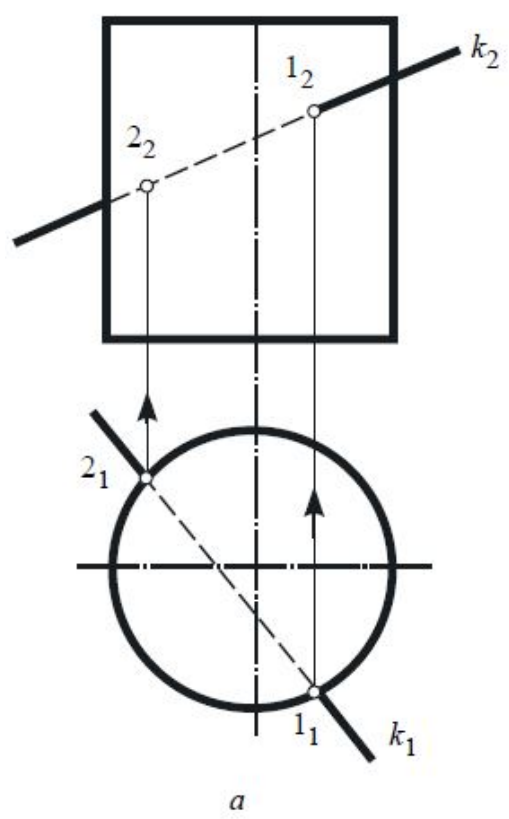


Рисунок 2.19

### 2.3.4 Перерізи і розрізи (ГОСТ 2.305-68)

На кресленнях різного призначення для виявлення внутрішньої форми предмета виконуються розрізи і перерізи.

**Переріз** – це зображення фігури, що отримується під час уявного розтину предмета однією або декількома площинами.

Перерізи розділяються на ті, що входять до складу розрізу (рис. 2.20), і не входять до складу розрізу. Останні, у свою чергу, бувають **накладені** і **винесені**. Детальна класифікація перерізів, їхнє позначення на кресленні подані в ГОСТ 2.305-68.

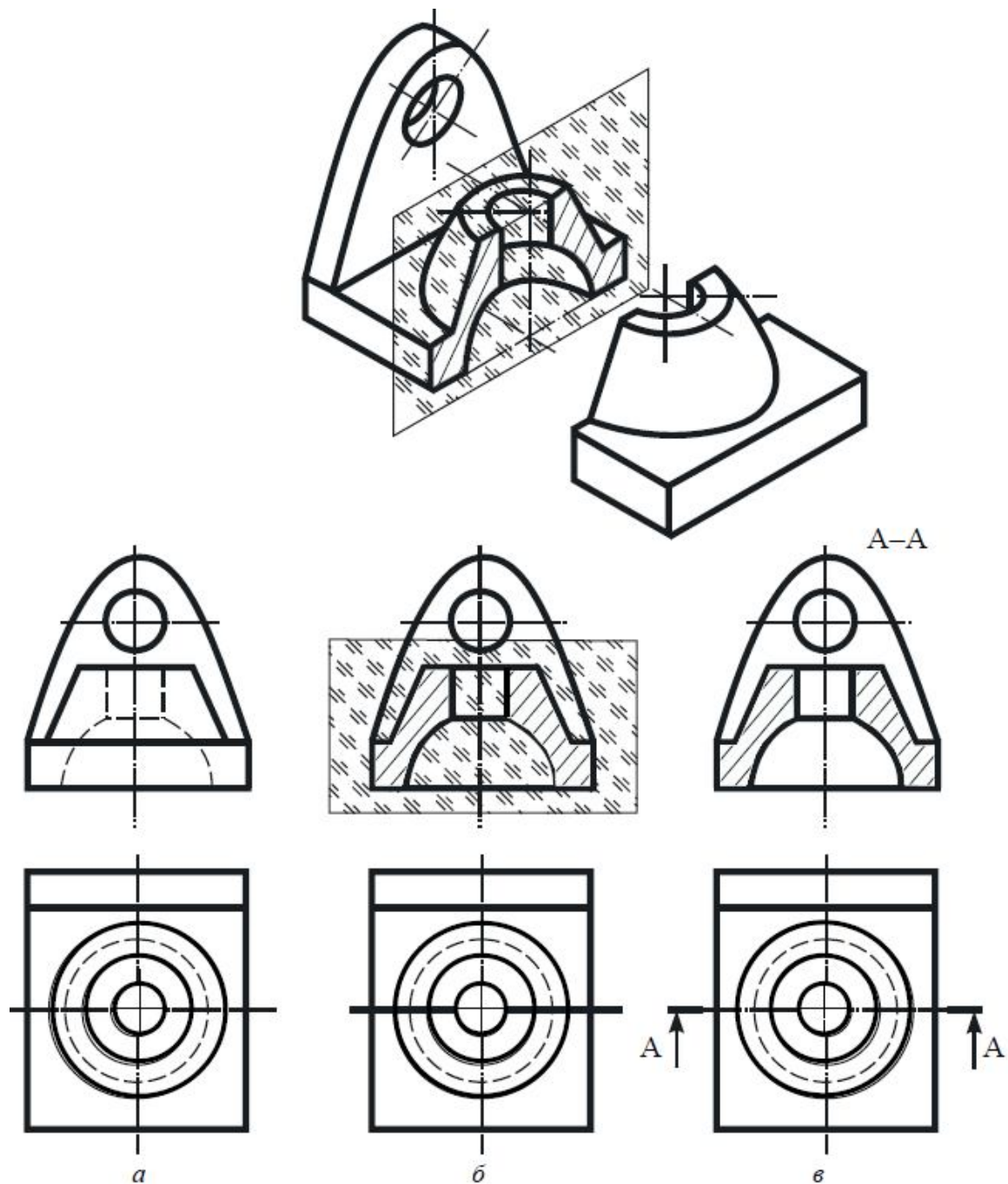


Рисунок 2.20



Під час виконання розрізу предмет подумки розсікають площиною; частину предмета, розташовану між оком спостерігача і січною площиною, подумки видаляють, а частину, що залишилася, проєктують на площину, паралельну січній.

Отже, **розріз** – це зображення частини предмета що залишилася після уявного видалення іншої його частини розташованої між спостерігачем і січною площиною.

Розріз є складеним зображенням, що містить:

а) **переріз** (зображення плоскої фігури, що отримується під час розсічення предмета січною площиною);

б) **вид** (зображення частини предмета, розташованої за січною площиною).

Класифікація і позначення розрізів на кресленні подані в **ГОСТ 2.305-68**.

**Задача.** Заданий предмет (рис. 2.20, а), що складається з призматичної основи, конічної бобишки з наскрізним циліндричним отвором, що переходить у півсферу, і вушка з циліндричним отвором. Виконати фронтальний розріз.

Січна фронтальна площина проходить через вісь поверхонь обертання, що утворюють бобишку (рис. 2.20, б). Подумки «відкинемо» ту частину предмета, яка розташована перед січною площиною.

Фігура перерізу складається з двох симетрично розташованих відносно осі плоских фігур. Кожна з фігур обмежена дугою кола, отримуваною, в результаті перетину січної площини з внутрішньою напівсферою, і ламаною з шести ланок. Ланки ламаної – це відрізки прямих ліній, по яких січна площина перетинає призматичну основу, зрізаний конус бобишки і циліндричний отвір у ній.

Зображення частини предмета, розташованої за січною площиною, містить зображення частин внутрішньої напівсфери, що залишилися, і циліндричної поверхні, а також частин, що залишилися, нижньої і верхньої граней призматичної основи, верхньої основи зрізаного конуса бобишки і вушка.

Викреслюємо фронтальну проєкцію фігури перерізу і виду за нею, виконуємо штрихування згідно з ГОСТ 2.306-68 – отримуємо фронтальний розріз, (рис. 2.20, в).

## 2.4 Побудова лінії перетину поверхонь

В інженерній практиці часто доводиться виконувати креслення різних виробів, формотворні поверхні яких (багатогранні і криві) взаємно перетинаються.

Щоб побудувати проєкції ліній їх перетину, необхідно вміти аналізувати можливі випадки перетину поверхонь і знати способи побудови цих ліній.

Спільна лінія двох поверхонь називається лінією їх перетину (рис. 2.21). Залежно від виду і взаємного положення поверхонь ця лінія може бути плоскою або просторовою ламаною, плоскою або просторовою кривою.



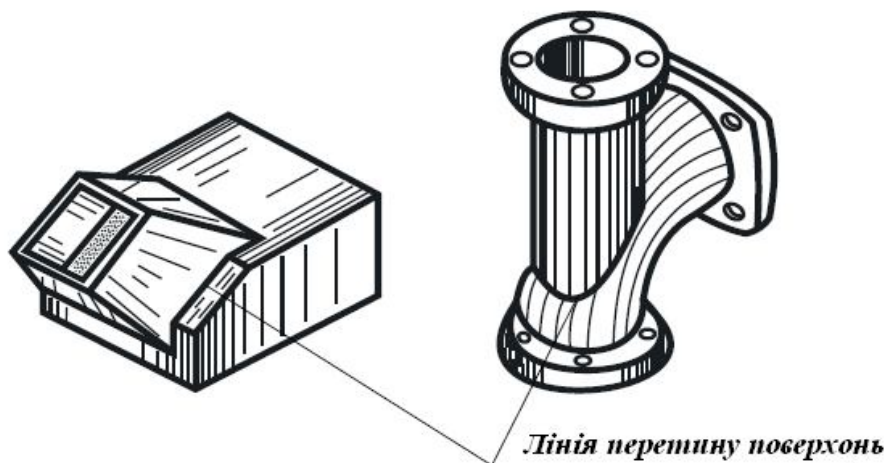


Рисунок 2.21

Перетин може бути *повним* (проникнення) і *частковим* (врізання). За повного перетину (проникнення) усі твірні (чи ребра) однієї поверхні перетинаються з другою поверхнею. У цьому випадку лінія перетину розпадається на дві замкнуті самостійні криві або ламані (рис. 2.24, 2.25, 2.29, 2.30). За часткового перетину частина твірних (чи ребер) однієї поверхні перетинається з частиною твірних (чи ребер) іншої. У цьому випадку лінія взаємного перетину є замкнутою просторовою кривою або ламаною лінією (рис. 2.23, 2.28, 2.31).

Лінію перетину на кресленні будують по окремих точках – опорних і проміжних, які одночасно належать цим поверхням.

Для знаходження точок лінії перетину застосовують принцип приналежності або використовують допоміжні поверхні: площини або сфери. Під час розв'язання багатьох задач ці способи застосовують спільно.

#### 2.4.1 Спосіб допоміжних площин

Спосіб допоміжних площин полягає в наступному, (рис. 2.22):

- 1) проводять допоміжну площину  $\Sigma$ , що перетинає задані поверхні  $\Phi$  і  $\Psi$  по графічно простим лініях (прямих або колах);
- 2) визначають лінії  $m$  і  $n$  перетину допоміжної площини  $\Sigma$  з кожною із заданих поверхонь;
- 3) позначають точки **1** і **2** перетину побудованих ліній  $m$  і  $n$ , які є шуканими, оскільки одночасно належать заданим поверхням.

У символічному вигляді сутність способу може бути виражена так:

$$1) \Sigma \cap \Phi \wedge \Sigma \cap \Psi,$$

$$2) m = \Sigma \cap \Phi, n = \Sigma \cap \Psi,$$

$$3) 1 = m \cap n, 2 = m \cap n.$$

Багатократне застосування зазначеного способу дозволяє визначити достатню кількість точок (опорних і проміжних), що належать лінії перетину заданих поверхонь.

Під час розв'язання задач на побудову лінії перетину поверхонь допоміжні січні площини потрібно вибирати так, щоб вони перетинали кожен задану поверхню по лініях, проекції яких були б прямими або колами.

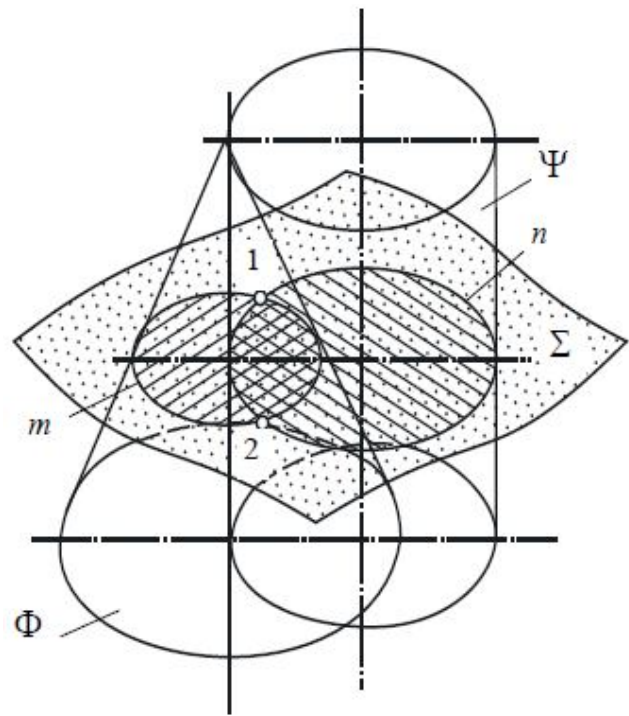


Рисунок 2.22

Якщо одна із заданих поверхонь є проектувальною відносно якої-небудь площини проєкцій, то відповідна проєкція лінії перетину співпадає з проєкцією цієї поверхні. У цьому випадку інші проєкції лінії перетину можуть бути визначені на основі принципу приналежності.

Незалежно від того, як знаходяться шукані точки лінії перетину (по умовам приналежності або за допомогою допоміжних поверхонь) загальний порядок розв'язку задач на перетин поверхонь має бути таким:

- 1) з'ясовують вид і розташування заданих поверхонь відносно одна одної і площин проєкцій;
- 2) визначають характер ліній перетину (крива або ламана лінія, просторова або плоска і т. п.);
- 3) визначають опорні точки (точки на ребрах, екстремальні та нарисні точки);
- 4) визначають проміжні точки;
- 5) визначають видимість проєкцій лінії перетину і нарисів поверхонь.

#### 2.4.2 Побудова лінії перетину багатогранної і кривої поверхонь

Лінія перетину багатогранної і кривої поверхонь становить сукупність декількох плоских кривих, кожна з яких – результат перетину кривої поверхні з однією з граней многогранника. Ці плоскі криві попарно перетинаються в точках перетину ребер многогранника з кривою поверхнею. У разі проникнення ця сукупність плоских кривих розпадається на дві або більше частин. Окремі ділянки лінії, отримувані під час перетину, є криві: еліпс, гіпербола, парабола, коло та ін. Опорні точки – це точки перетину ребер многогранника з кривою поверхнею, екстремальні та точки зміни видимості.

*Задача.* Побудувати лінію перетину прямої трикутної призми з циліндром (рис. 2.23).

Розв'язання задачі потрібно виконувати в рекомендованому порядку, (див. п. 2.4.1).

1. Бічні грані призми є горизонтально-проекувальними площинами, а вісь циліндра перпендикулярна площині  $\Pi_3$ , тобто циліндрична поверхня профільно-проекувальна.

2. По горизонтальній проекції видно, що поверхня циліндра перетинається з двома бічними гранями призми, які нахилені до осі, тому лінії перетину є частинами еліпсів. Перетин поверхонь часткове (врізання).

На горизонтальну площину проєкцій лінія перетину проєкується у вигляді двох відрізків, співпадаючих із проєкцією бічних граней призми, а на профільну – у вигляді дуги кола, співпадаючого з проєкцією бічної поверхні циліндра. З огляду на це горизонтальну і профільну проєкції лінії перетину будувати не потрібно: вони на кресленні вже є. Фронтальна проєкція лінії перетину є частинами еліпсів, які будуються по точках (опорних і проміжним).

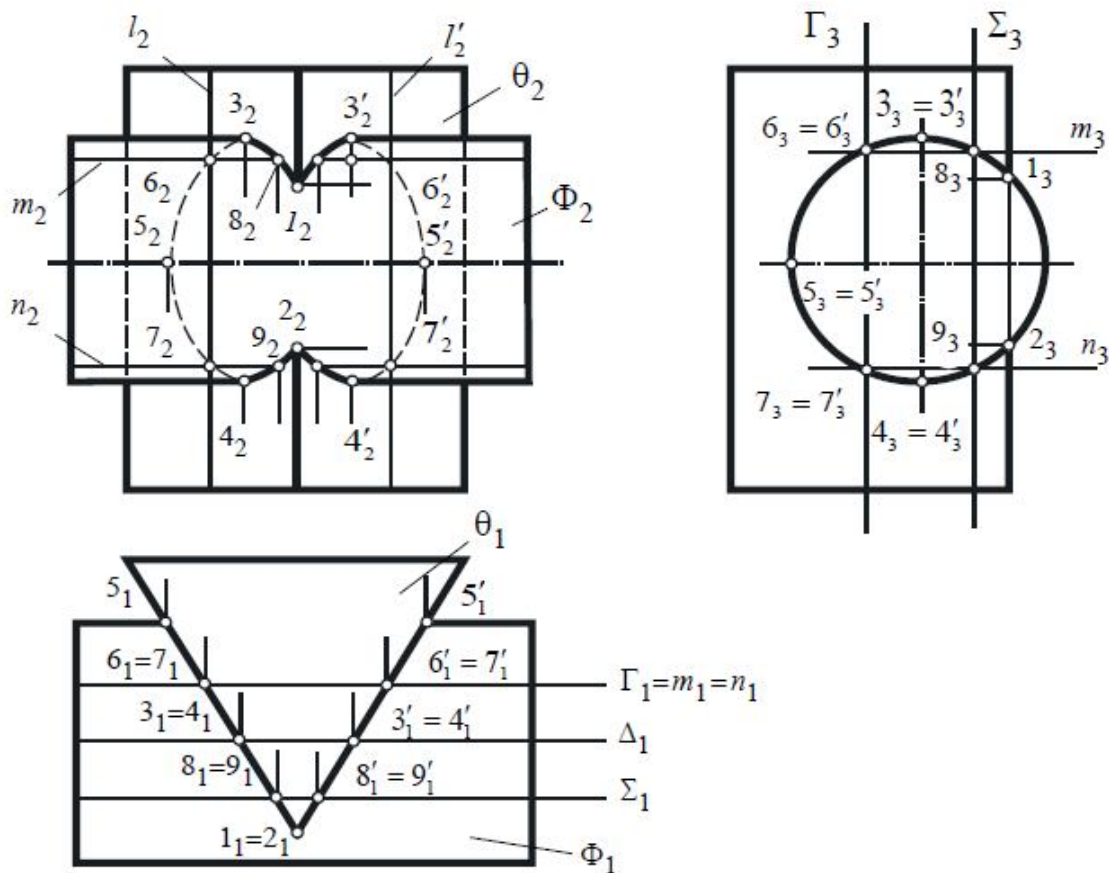


Рисунок 2.23

3. Визначення опорних точок. Переднє ребро призми перетинає циліндр у точках **1** і **2**, фронтальні проєкції яких визначають з умови належності точок цьому ребру. Для побудови вищих і нижчих точок уводиться допоміжна фронтальна площина рівня  $\Delta$ , що перетинає циліндр по лініях видимого контуру відносно  $\Pi_2$ , а призму – по прямих лініях. У перетині отриманих ліній визначаються точки **3** і **3'**, **4** і **4'**, які одночасно є точками зміни видимості лінії перетину відносно фронтальної площини проєкцій. Екстремальні точки **5** і **5'** відносно  $\Pi_2$  будуються за приналежністю цих точок твірній циліндра, найбільш близької до  $\Pi_2$ .

4. Для точнішої побудови лінії перетину на кресленні необхідно знайти проміжні точки. Алгоритм для знаходження точок **6** і **7**, **6'** і **7'** складається на підставі загальної схеми (див. п. 2.4.1):

1)  $\Gamma \parallel \Pi_2$ ,

2)  $\Gamma \cap \Phi = m \wedge n$ ;  $\Gamma \cap \psi = l \wedge l'$ ;

3)  $6 = m \cap l \wedge 7 = n \cap l$ ;  $6' = m \cap l' \wedge 7' = n \cap l'$ .

Після складання алгоритму виконують побудови на кресленні (рис. 2.23).

5. Фронтальні проекції знайдених опорних і проміжних точок сполучають двома плавними кривими з урахуванням видимості. Видимими на  $\Pi_2$  є ділянки  $3_2-1_2-3'_2$  і  $4_2-2_2-4'_2$ , оскільки вони належать одночасно передній частині поверхні циліндра і бічним граням призми, видимим на  $\Pi_2$ .

На рисунку 2.24 і 2.25 побудовані зображення циліндра і конуса з наскрізними призматичними отворами; на рисунку 2.26 – зображення кулі з призматичним вирізом.

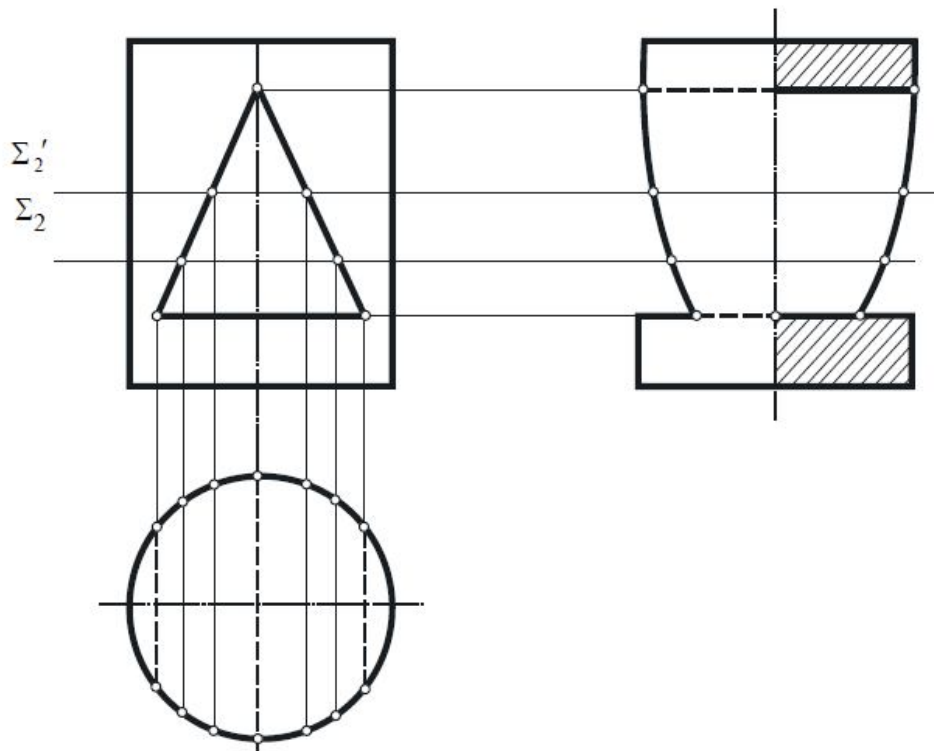


Рисунок 2.24

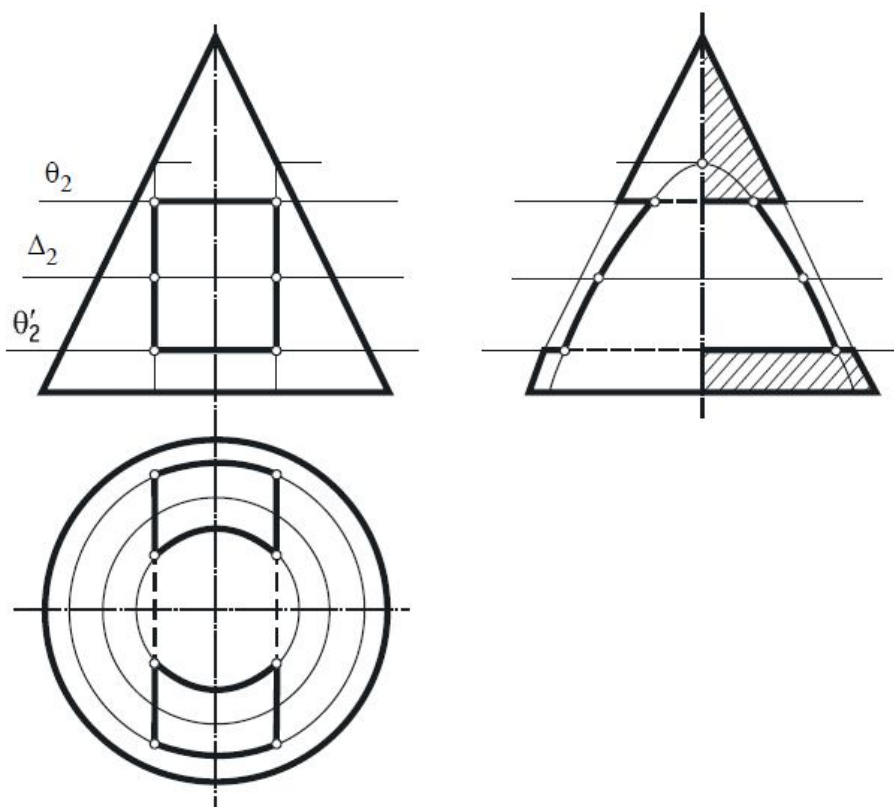


Рисунок 2.25

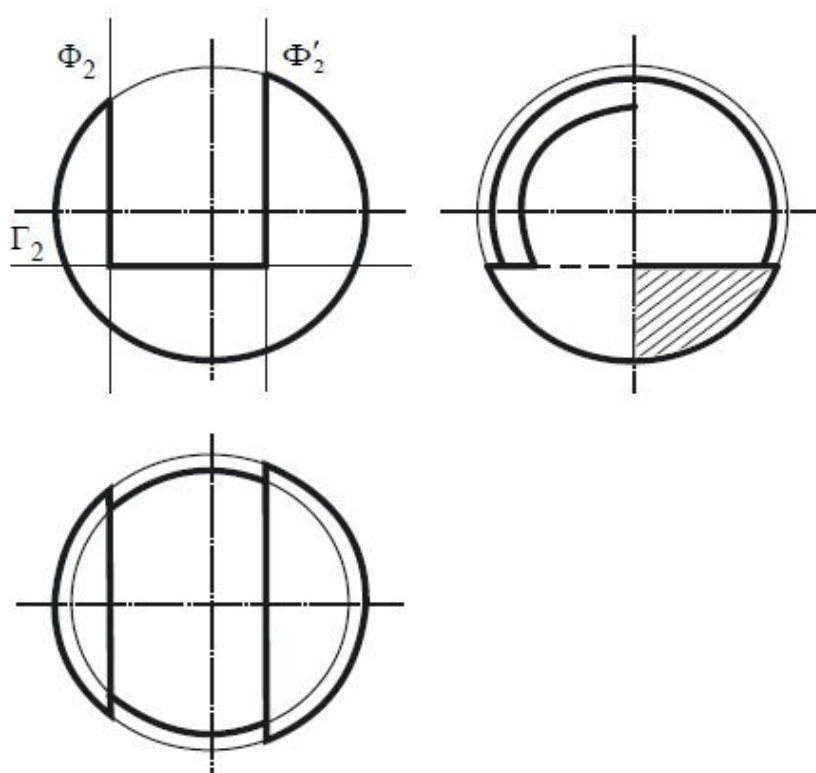


Рисунок 2.26

### 2.4.3 Побудова лінії перетину двох багатограних поверхонь

Дві багатогранні поверхні перетинається по замкнутій просторовій ламаній лінії (випадок врізування), яка може розпадатися на дві замкнуті ламані (випадок

проникнення). У усіх випадках вершинами ламаних будуть точки перетину ребер першого многогранника з гранями другого і ребер другого многогранника з гранями першого, а сторонами – відрізки прямих, по яких перетинаються грані обох многогранників (рис. 2.27).

Отже, задача зводиться до багатократної побудови точки перетину прямої (ребра) з площиною (гранню). Після визначення вершин ламаної, які є опорними точками, з урахуванням видимості з'єднують відрізками прямих ті пари вершин, які належать одній і тій же грані першого многогранника і одночасно одній і тій же грані другого.

**Задача.** Побудувати лінію перетину двох прямих призм (рис. 2.28).

Лінія перетину призм є просторовою ламаною, оскільки вид перетину – врізування. Поверхня вертикальної призми є горизонтально-проектувальною, а поверхня горизонтально розташованої призми – профільно-проектувальна. Отже, горизонтальна і профільна проекції лінії перетину співпадають із відповідними проекціями вертикальної і горизонтальної призм у зонах накладення їхніх проекцій.

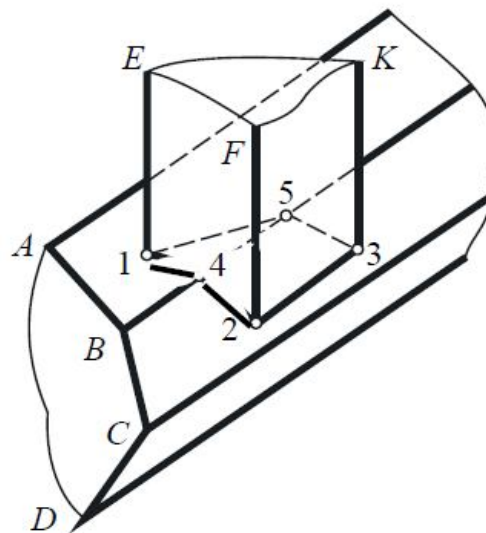


Рисунок 2.27

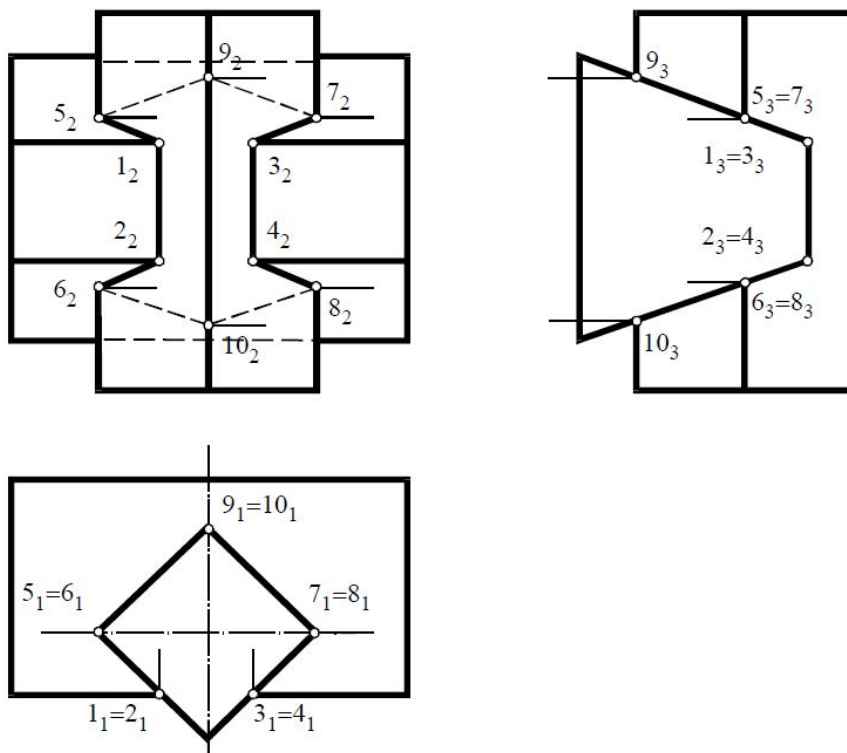


Рисунок 2.28



Опорні точки – точки перетину ребер вертикальної призми з гранями горизонтальної (5, 6, 7, 8, 9, 10) і точки перетину ребер горизонтальної призми з гранями вертикальної (1, 2, 3, 4). Позначаємо їхні горизонтальні і профільні проекції, а фронтальні проекції будуємо за умовою приналежності точок відповідним ребрам обох призм.

У встановленому раніше порядку сполучаємо знайдені точки відрізками прямих ліній. Видимі відносно фронтальної площини проекцій ланки 5–1–2–6 і 7–3–4–8, оскільки вони є результатом перетину видимих відносно  $\Pi_2$  граней заданих призм.

На рисунку 2.29 подано зображення трикутної піраміди з призматичним наскрізним отвором. Вид перетину – проникнення, за якого лінія перетину розпадається на плоску замкнуту ламану (2–6–10–5–2) і просторову (1–7–8–9–4–3–1). Під час розв’язання задачі застосований спосіб допоміжних січних площин.

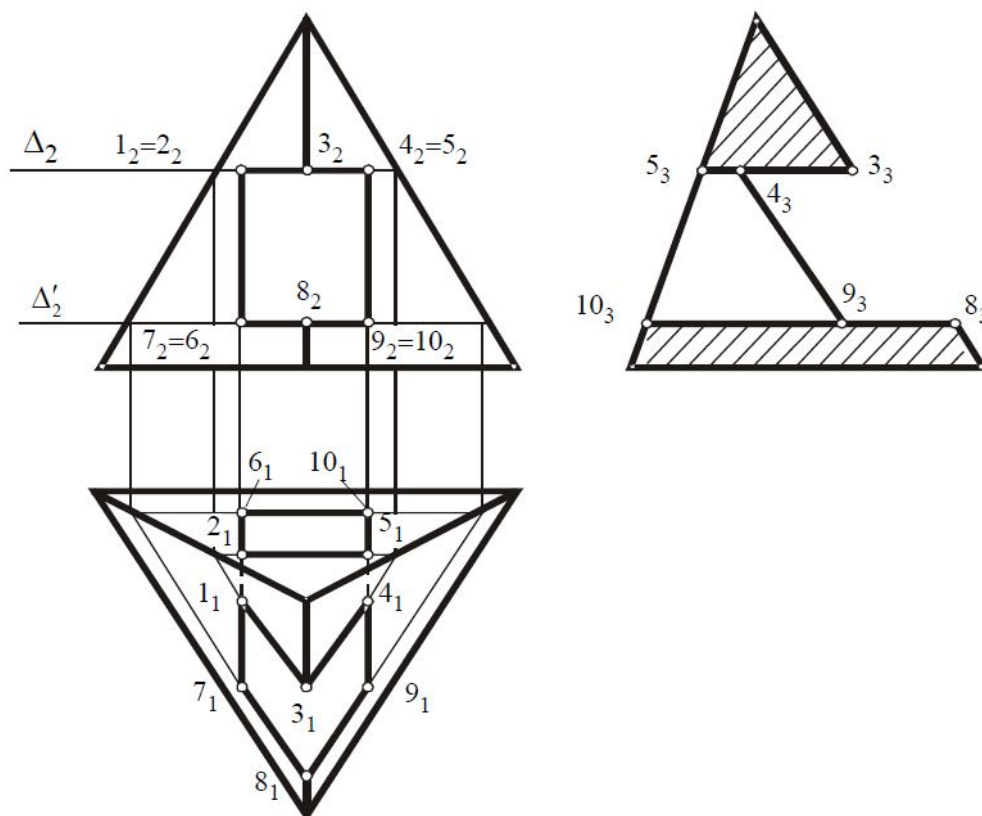


Рисунок 2.29

## 2.4.4 Побудова лінії перетину кривих поверхонь

### 2.4.4.1 Загальний випадок

Лінія перетину двох кривих поверхонь у разі часткового перетину (врізування) є просторовою кривою, яка у разі повного перетину (проникнення) може розпадатися на дві або більше частин. Опорні і проміжні точки цієї лінії визначають способом допоміжних січних площин, способом сфер або з умови приналежності точок поверхні.

Під час виконання машинобудівних креслень найчастіше зустрічається випадок перетину двох циліндричних поверхонь, осі яких перетинаються під кутом  $90^\circ$ .

**Задача.** Побудувати лінію перетину двох прямих кругових циліндрів, осі яких перпендикулярні до площин проекцій (рис. 2.30).

Із креслення (рис. 2.30) видно, що має місце випадок проникнення (дві симетрично розташовані замкнуті лінії перетину). Поверхні заданих циліндрів займають проектувальне положення. У цьому випадку дві проекції лінії перетину будувати не потрібно, оскільки профільна проекція співпадає з проекцією бічної поверхні малого циліндра, а горизонтальна проекція – із проекцією бічної поверхні великого циліндра.

Отже, залишається побудувати фронтальну проекцію лінії перетину.

Опорні точки – вищі **A**, **A'** і нижчі **B**, **B'**, крайні ліві **C**, **C'** і крайні праві **D**, **D'** – визначаємо на підставі принципу приналежності цих точок твірним вертикального або горизонтального циліндрів. Фронтальні проекції проміжних точок **1<sub>2</sub>**, **2<sub>2</sub>**, **3<sub>2</sub>**, **4<sub>2</sub>** і **1'<sub>2</sub>**, **2'<sub>2</sub>**, **3'<sub>2</sub>**, **4'<sub>2</sub>** можна побудувати за приналежністю їх відповідним твірним. З'єднавши послідовно фронтальні проекції знайдених точок плавною кривою, отримаємо фронтальну проекцію лінії перетину. Проекція видимої частини лінії, розташована на передній частині циліндра, співпадає з проекцією невидимої.

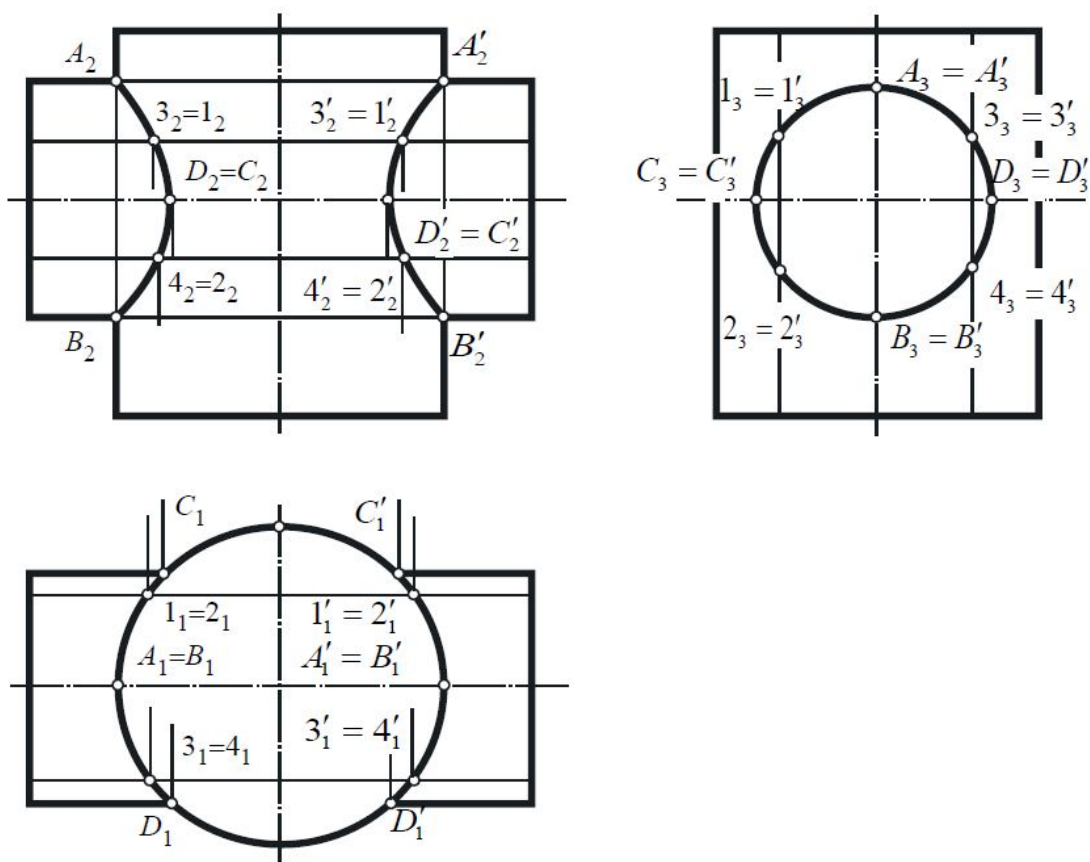


Рисунок 2.30

**Задача.** Побудувати лінію перетину конуса і циліндра (рис. 2.31).

За заданим розташуванням поверхонь на комплексному кресленні встановили, що має місце випадок врізування. Оскільки циліндрична поверхня фронтально-проектувальна, то фронтальна проекція лінії перетину співпадає з фронтальною проекцією циліндра.

Для побудови горизонтальної проекції лінії перетину використовуємо допоміжні горизонтальні площини рівня  $\Gamma$ . Такі площини перетинають конус по колах, а циліндр – по прямолінійним твірним.

Точки перетину цих ліній проектуються в точки перетину проекцій цих ліній.



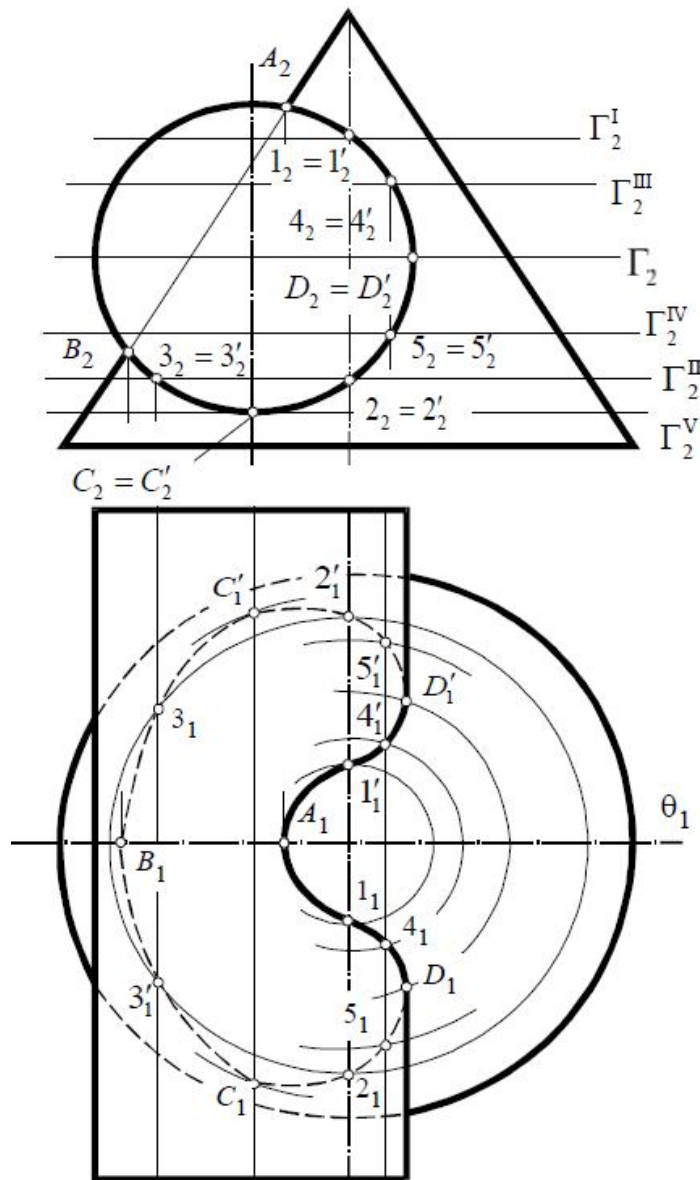


Рисунок 2.31

Під час розв'язування, насамперед, визначаємо опорні точки: **A** і **B** на лівій твірній конуса (використовуємо принцип приналежності точки поверхні), **C** і **C'** – екстремальні точки (нижчі), **D** і **D'** – точки на правій твірній циліндра (точки зміни видимості відносно горизонтальної площини проєкцій).

Проміжні точки, що належать лінії перетину, будуюмо, проводячи допоміжні площини рівня симетрично по відношенню до осі циліндра. Сполучаємо отримані точки плавною кривою, враховуючи видимість.

#### 2.4.4.2 Перетин соосних поверхонь обертання

Поверхні обертання, що мають спільну вісь, називаються соосними (рис. 2.32). Меридіани **m** і **n** соосних поверхонь обертання, розташовані в одній осьовій площині **Σ**, перетинаються в деяких точках **1** і **2**, (рис. 2.32, а). Точки **1** і **2** під час обертання меридіанів **m** і **n** описують кола, що одночасно належать кожній з утворених поверхонь обертання.

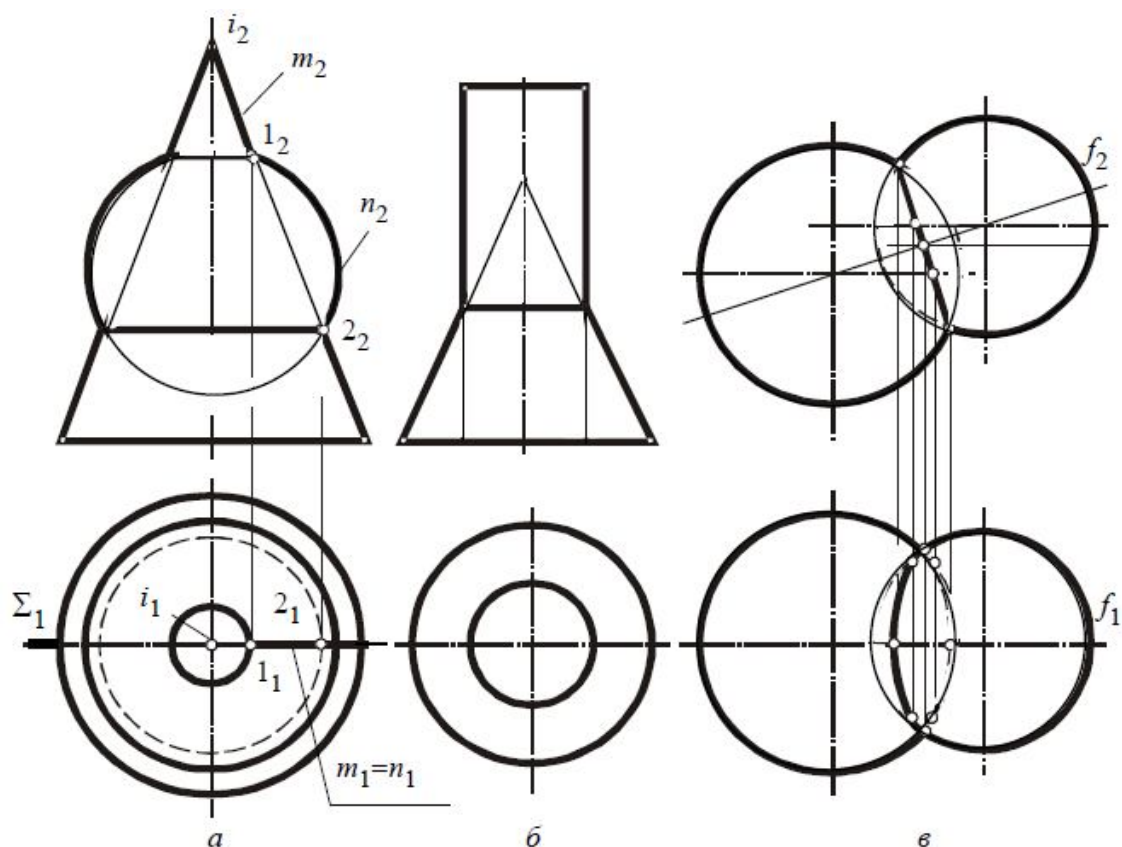


Рисунок 2.32

Отже, соосні поверхні обертання перетинаються по колах. Кількість кіл дорівнює кількості точок перетину меридіанів, що описують поверхні, розташовані в одній осьовій площині і по одну сторону від осі обертання (рис. 2.32). Наприклад, соосні поверхні обертання, зображені на рисунку 2.32, а, перетинаються по двом колам, оскільки їхні меридіани  $m$  і  $n$  мають дві спільні точки:  $1$  і  $2$ .

На рисунку 2.32, в подано випадок взаємного перетину соосних сфер, спільна вісь яких  $f$  ( $f_1$ ,  $f_2$ ) є фронталлю. У цьому випадку коло перетину сфер належить фронтально-проектувальній площині і на  $\Pi_1$  проектується в еліпс, а на  $\Pi_2$  у пряму лінію.

На рисунку 2.33 зображений глухий свердлений отвір із конічною фаскою. Поверхні, що утворюють отвір, становлять соосні поверхні обертання (зрізаний конус  $1$ , циліндр  $2$ , конус  $3$ ), які перетинаються по колах. Проекції цих кіл на фронтальній площині є відрізками прямих ліній.

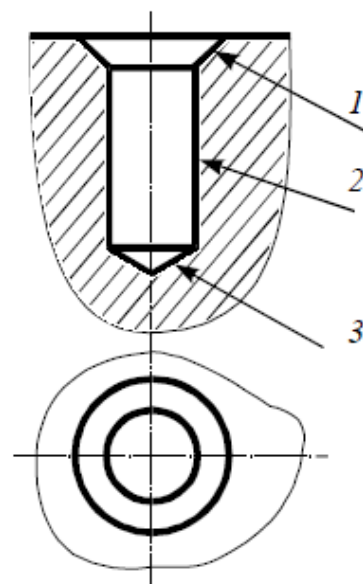


Рисунок 2.33

### 2.4.4.3 Спосіб допоміжних сфер

Застосування допоміжних сфер під час побудови ліній перетину кривих поверхонь ґрунтується на властивості соосних поверхонь обертання перетинатися по колах. Сфера з центром у точці  $O$  перетину осей двох поверхонь обертання буде соосна з кожною з цих поверхонь і перетне їх по колах  $l$  і  $m$  (рис. 2.34, б). Точки  $1$  і  $2$  перетину цих кіл є спільними для обох поверхонь, тобто належать лінії їх перетину. Побудова цих точок подана на кресленні (рис. 2.34, а).

Площина симетрії  $\Sigma$  цих поверхонь паралельна фронтальній площині проєкцій, і кола  $l$  і  $m$  спроектуються на  $\Pi_2$  у вигляді прямолінійних відрізків  $l_2$  і  $m_2$ . Точки  $1_2 = 2_2$  їхнього перетину є фронтальними проєкцією точок  $1$  і  $2$ .

Цей спосіб побудови лінії перетину поверхонь називається **способом концентричних сфер**. Для його застосування потрібна наявність таких умов у розв'язуванні задачі:

- 1) перетин поверхонь обертання;
- 2) осі поверхонь – прямі що перетинаються, – паралельні одній із площин проєкцій, тобто є загальна площина симетрії;
- 3) неможливість використання способу допоміжних січних площин, оскільки вони не дають графічно простих ліній на поверхнях.

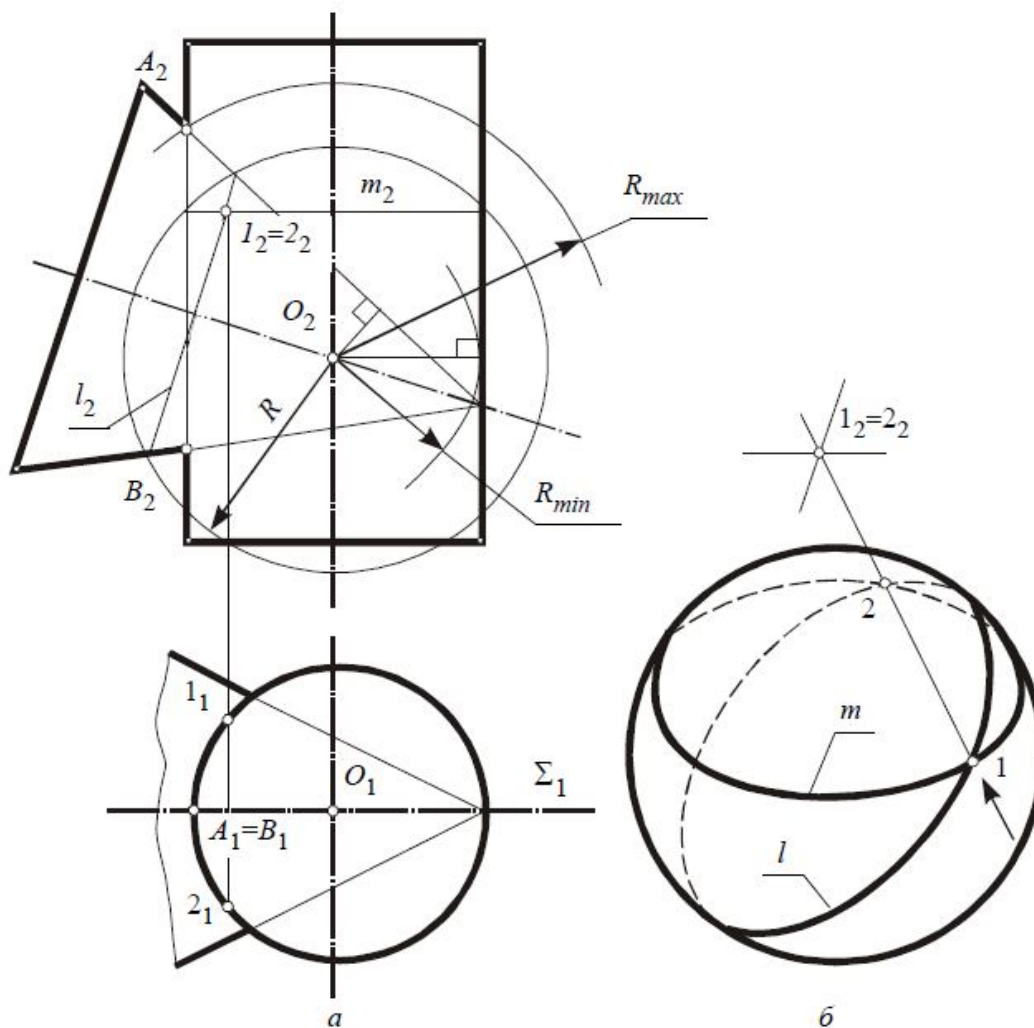


Рисунок 2.34

Для знаходження ряду точок лінії перетину використовують сфери з різними радіусами, центр яких – у точці перетину осей цих поверхонь. Водночас мінімальний радіус  $[R_{min}]$  дорівнює радіусу найбільшої із сфер, вписаних у ці поверхні, а максимальний  $[R_{max}]$  – довжині відрізка, що виражає відстань від проекції центру сфери до найбільш віддаленої точки перетину нарисових твірних (рис. 2.34, а).

Побудова лінії перетину поверхонь тора і конуса обертання способом концентричних сфер подана на рисунку 2.35.

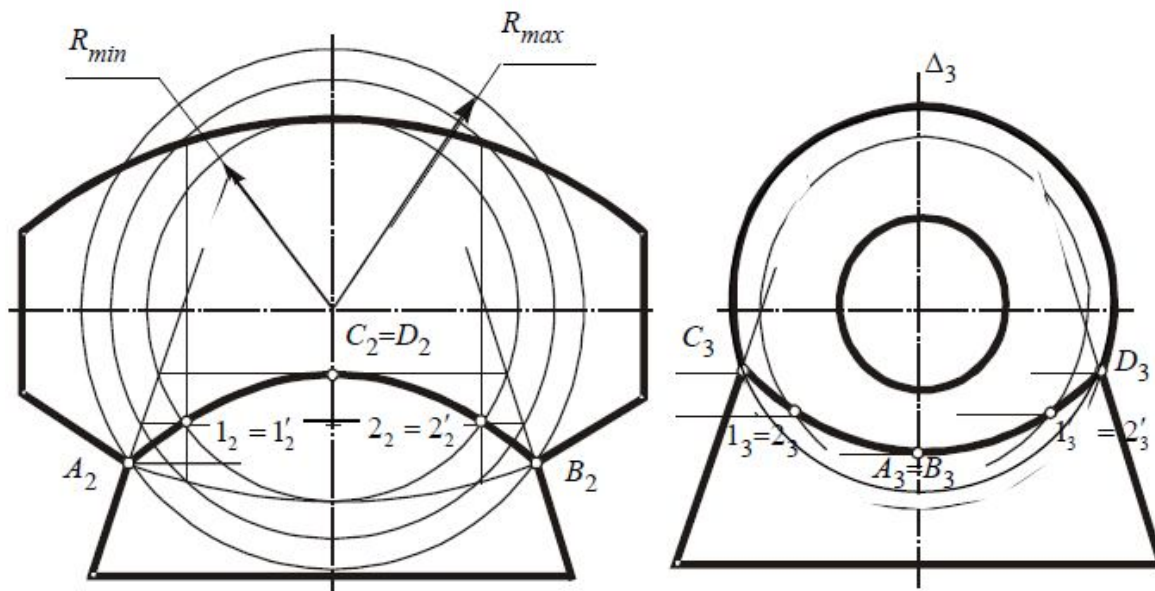


Рисунок 2.35

Нарисові відносно  $\Pi_2$  точки **A** і **B** (вони ж нижчі) визначені за допомогою спільної площини симетрії  $\Delta \parallel \Pi_2$ . Застосування допоміжних площин для побудови інших точок не дає графічно простого рішення. Оскільки осі заданих поверхонь обертання перетинаються і паралельні  $\Pi_2$  (належать спільній площині симетрії  $\Delta$ ), то як допоміжні поверхні можуть бути вибрані сфери із спільним центром у точці перетину осей заданих поверхонь. Вищі точки **C** і **D** (вони ж – найближча і сама віддалена відносно  $\Pi_2$ ) визначені за допомогою сфери мінімального радіусу, вписаної в тор. Проміжні точки **1** і **2** – за допомогою сфери з радіусом **R**, меншим  $[R_{max}]$  і більшим  $[R_{min}]$ .

Коли осі поверхонь що перетинаються схрещуються, а не перетинаються, то спосіб концентричних сфер застосувати не можна. Якщо кожна з поверхонь має кругові перерізи та є спільна площина симетрії, паралельна одній з площин проекцій, то треба застосувати **спосіб ексцентричних сфер**.

На рисунку 2.36 показані поверхні тора і конуса, що мають сімейство кругових перерізів. Кожен із перерізів може бути отриманий як результат перетину із сферою. Тор перетинається площинами  $\Gamma, \Gamma', \dots$ , які проходять через вісь обертання  $i$ , по колах  $l, l', \dots$ . Геометричним місцем центрів сфер, що дають кругові перерізи тора, є перпендикуляр, поставлений з центру цього кола до його площини (рис. 2.36. а). Конус обертання перетинається площинами  $\Lambda, \Lambda', \dots$ , паралельними основі по колах  $m, m', \dots$ . Геометричним місцем центрів сфер, що дають ці кругові перерізи, є вісь обертання конуса (рис. 2.36. б).

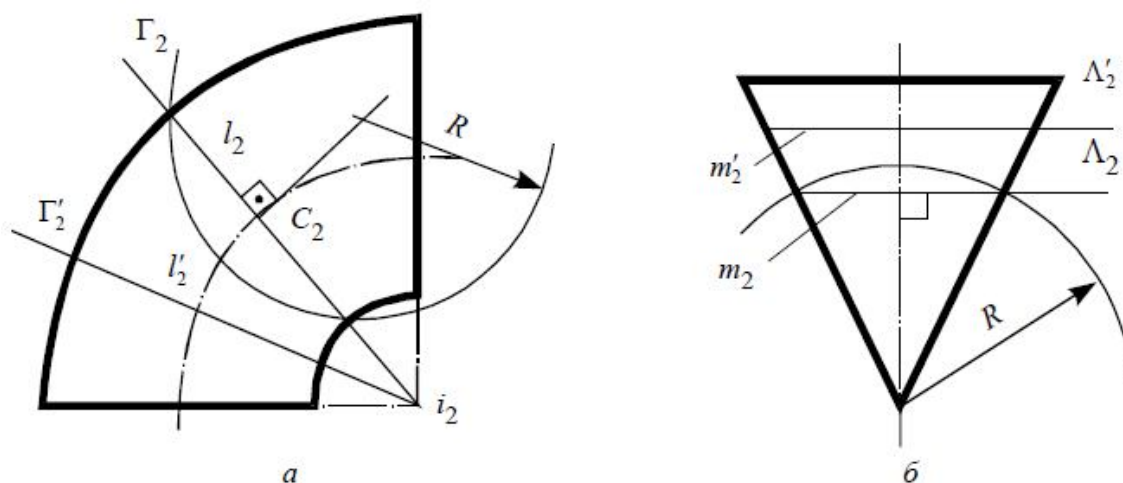


Рисунок 2.36

Для побудови лінії перетину поверхонь тора і конуса (рис. 2.37) можна використати **ексцентричні** сфери. Центр кожної сфери, яка перетинає одночасно тор і конус по колах, знаходиться в точці **O** перетину перпендикуляра, поставленого з центру **C** кола до площини кругового перерізу **l**, із віссю конуса.

Проведемо сферу з центром у точці **O** такого радіусу **R**, щоб вона пересікла тор по вже побудованому колу **l**. Ця сфера перетне конус по колу **m**. Точки **1** і **2** перетини кіл **l** і **m** належать одночасно обом поверхням. Аналогічно можна знайти інші центри **O'**, **O''**, і побудувати достатню кількість точок, що належать лінії перетину. Побудова екстремальних точок **K** і **L** лінії перетину нарисових відносно  $\Pi_2$ , а також точок **M** і **N** видно з креслення.

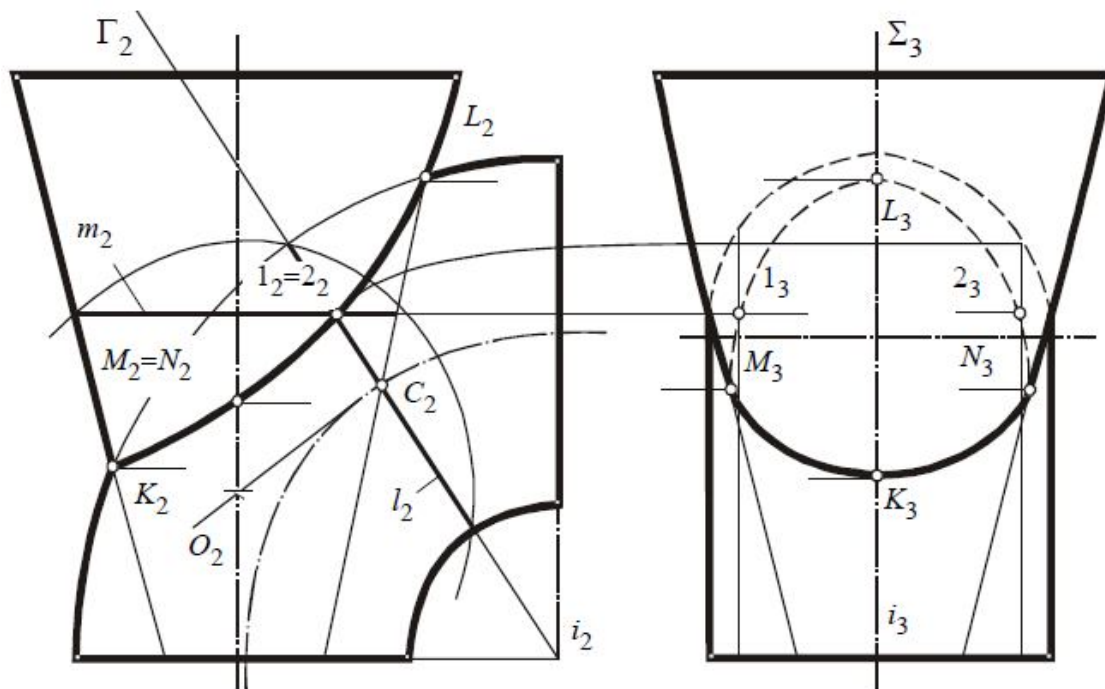


Рисунок 2.37



## 2.4.5 Особливі випадки перетину поверхонь другого порядку

Лінія перетину двох поверхонь другого порядку здебільшого є алгебраїчною кривою четвертого порядку. В особливих випадках вона може розпадатися на лінії нижчих порядків, сума порядків яких рівна чотирьом. Особливий інтерес становлять випадки її розпаду на пару кривих другого порядку. Існує декілька теорем, визначаючих умови такого розпаду. Розглянемо одну з них – *теорему Монжа*.

*Якщо дві поверхні другого порядку описані навколо третьої або вписані в неї, то лінія їхнього перетину розпадається на дві криві другого порядку, площини яких проходять через пряму, що сполучає точки перетину ліній дотику.*

На рисунку 2.38 циліндр і конус описані навколо однієї і тієї ж сферичної поверхні. Згідно з теоремою Монжа лінія їхнього перетину розпадається на дві плоскі криві – два еліпси, площини яких проходять через пряму **KL**, що сполучає точки **K** і **L** перетину кіл дотику **1 - 2** і **3 - 4**, а також через точки **A**, **B**, **C** і **D** – точки перетину нарисових твірних.

На площину  $\Pi_2$  еліпси проектуються в прямі лінії, оскільки пряма  $KL \perp \Pi_2$ , а на площину  $\Pi_1$  – в еліпси, точки яких будують за принципом приналежності їх поверхні конуса.

На рисунку 2.39 подано перетин циліндрів однакового діаметру (див. теорему Монжа).

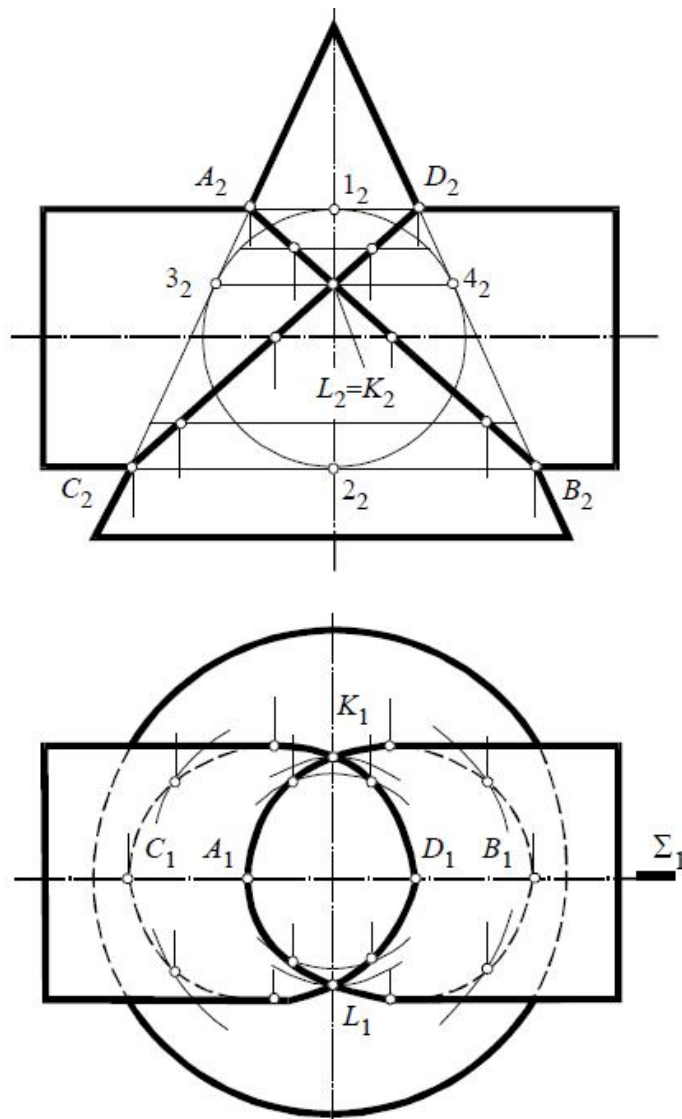


Рисунок 2.38

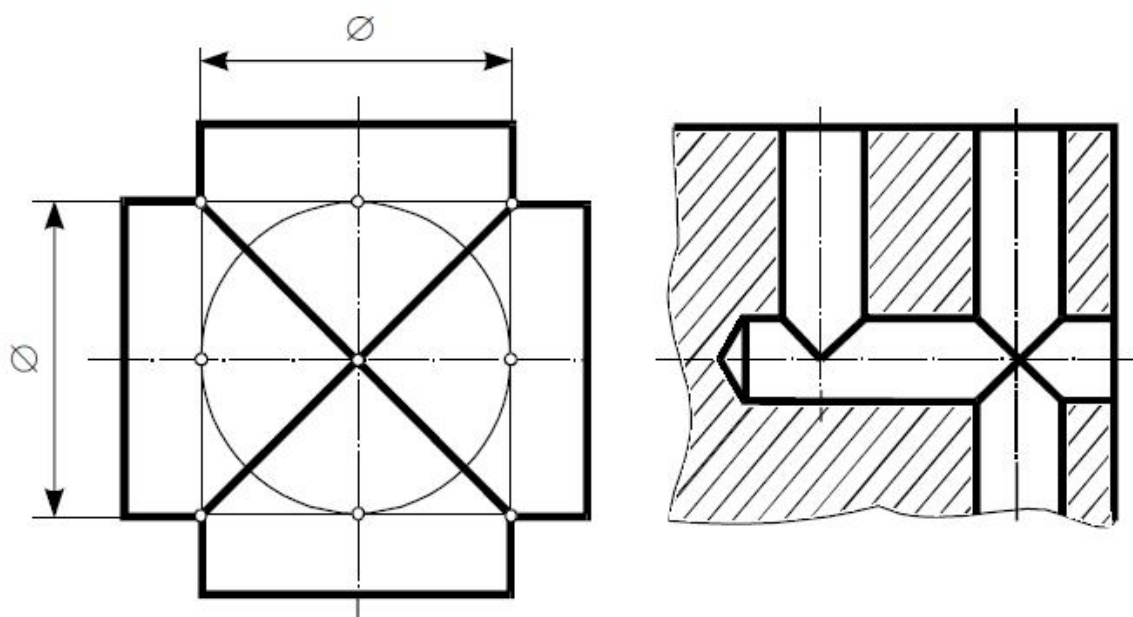


Рисунок 2.39

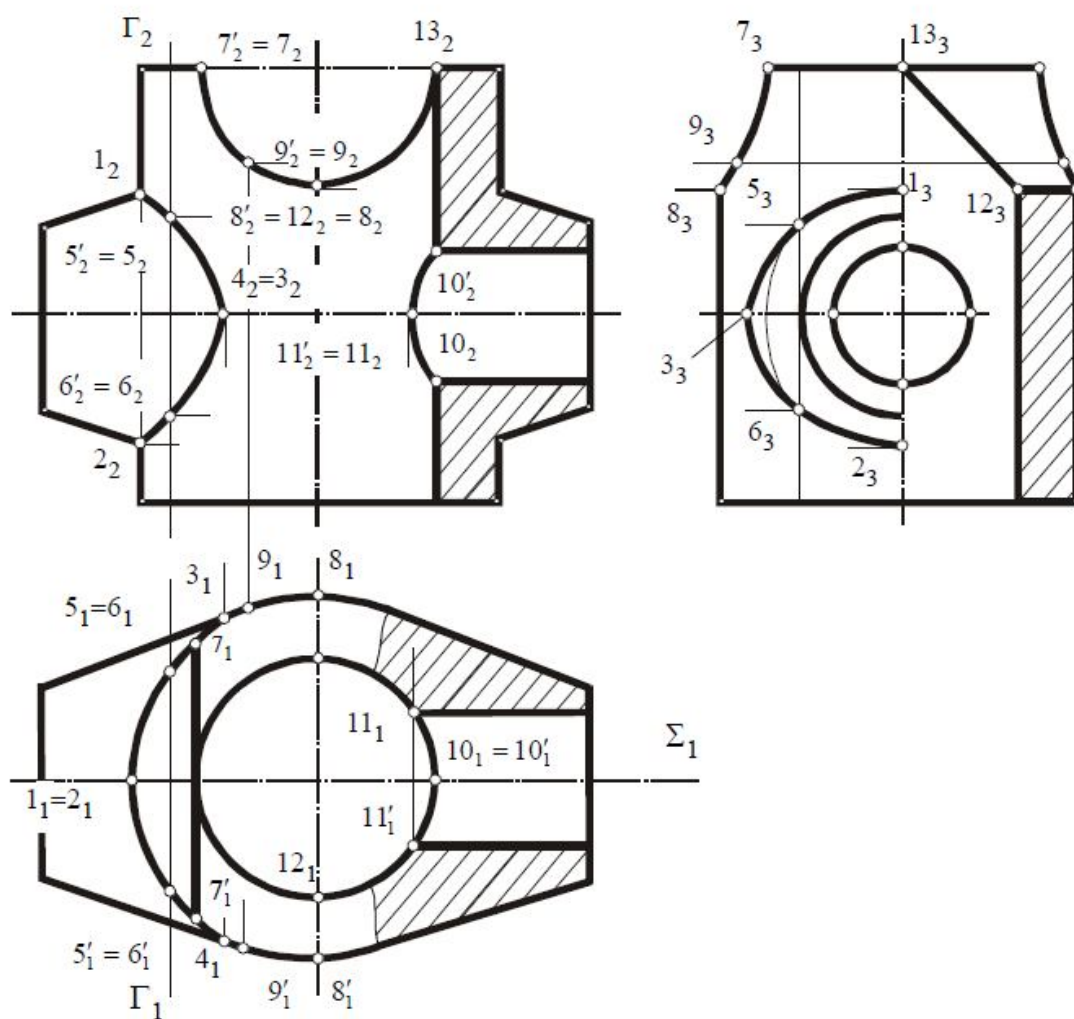


Рисунок 2.40

**Задача.** Побудувати проєкції ліній перетину поверхонь, що утворюють заданий предмет. Виконати розрізи.

Цей предмет (рис. 2.40) утворюють циліндр із вертикальною віссю і два прилеглих до нього конуси з горизонтальними осями; усередині є вертикальний циліндричний отвір і горизонтальний напівциліндр однакових діаметрів, а також два наскрізних горизонтальних циліндричних отвори у прилеглих конусах.

Завдання складається з сукупності чотирьох простих завдань на побудову ліній перетину поверхонь.

Виконуємо побудови ліній перетину:

1) вертикального зовнішнього циліндра з прилеглим конусом, що має горизонтальну вісь (лінія **1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 6' - 4 - 5' - 1**);

2) горизонтальні напівциліндри із зовнішньою циліндричною поверхнею (лінія **7 - 9 - 8**);

3) горизонтальні напівциліндри з внутрішнім вертикальним циліндричним отвором однакових діаметрів (лінія **12 - 13**);

4) горизонтальних циліндричних отворів у конусах із внутрішнім вертикальним циліндричним отвором (лінія **10 - 11 - 10' - 11'**).

Кожне із завдань вирішується на основі викладеної теорії побудови лінії перетину поверхонь у рекомендованому порядку (див. п. 2.4.1).



### 3 ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНЬ

#### 3.1 Формати

**ГОСТ 2.301-68** установлює формати аркушів для виконання креслень (ескізів) та інших документів конструкторської документації усіх галузей промисловості і будівництва.

Формати аркушів визначаються розмірами зовнішньої рамки.

Стандартом передбачено виконання креслень на окремих аркушах або на спільному аркуші з виділенням у ньому форматів для кожного креслення. Позначення і розміри основних п'яти форматів подано в таблиці 3.1 і на рисунку 3.1. Як видно з таблиці, усі вони кратні формату **A4**. У разі необхідності допускається застосування додаткових форматів, що утворюються збільшенням сторін основних форматів на величину, кратну їхнім розмірам.

На кожному аркуші виконується рамка, що обмежує робоче поле креслення. Рамка виконується суцільною товстою основною лінією. Відстань від верхньої, правої і нижньої сторін зовнішньої рамки – 5 мм. Відстань від лівої сторони – 20 мм (для підшивки листа).

У правому нижньому кутку креслення повинен знаходитися основний напис згідно з **ГОСТ 2.104-2006** який на форматі A4 розташовується тільки уздовж короткої сторони, а для усіх інших форматів, як уздовж короткої, так і уздовж довгої сторони.

Таблиця 3.1 – Формати

Позначення формата	A0	A1	A2	A3	A4
Розміри формата, мм	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297

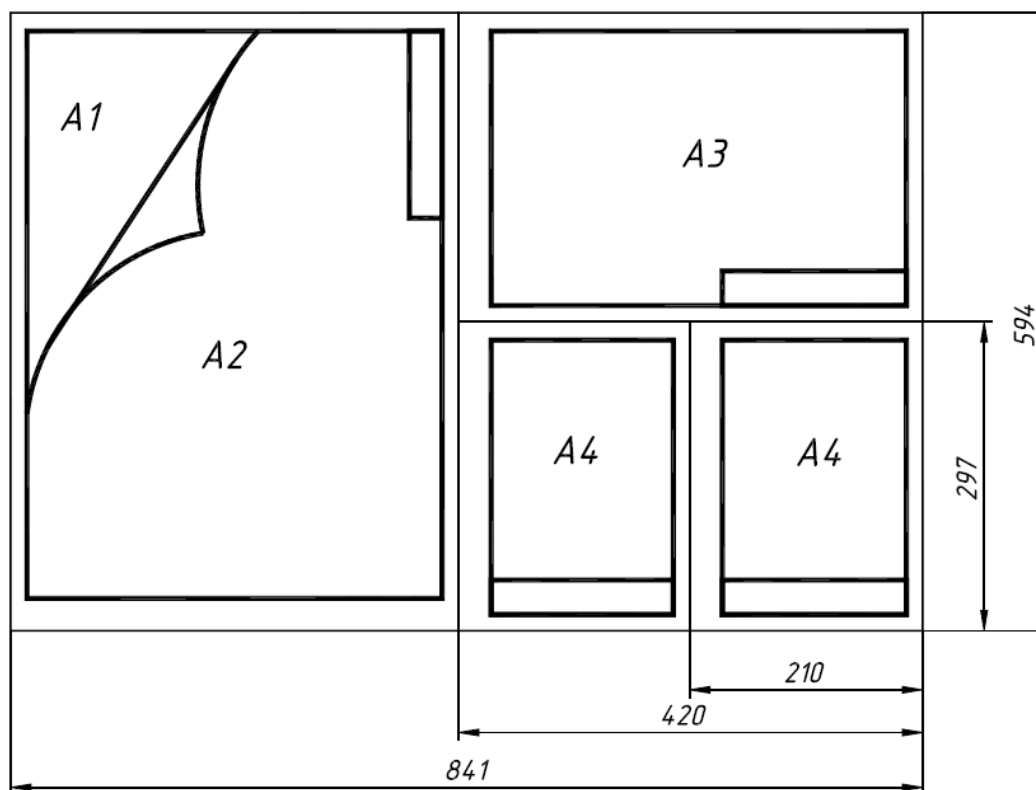


Рисунок 3.1

### 3.2 Масштаби

Креслення, на яких зображення виконані у натуральну величину, дають правильне уявлення про дійсні розміри предмета. Проте за дуже малих розмірах предмета або, навпаки, за занадто великих доводиться його зображення збільшувати або зменшувати, тобто викреслювати в масштабі.

**Масштабом називається відношення лінійних розмірів зображення предмета до його дійсних розмірів.** Масштаби встановлені ГОСТ 2.302–68 і повинні вибиратися з ряду, наведеного в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Масштаби

Масштаби зменшення	1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000
Натуральна величина	1:1
Масштаби збільшення	2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1




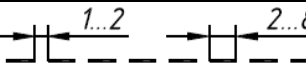
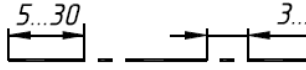
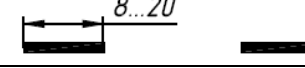
Якщо масштаб вказується в призначеній для цього графі основного напису, то він повинен позначатися за типом: **1: 1; 1: 2; 2: 1** тощо.

**На кресленні предмета проставляють дійсні розміри незалежно від масштабу зображення.**

### 3.3 Лінії

При виконанні будь-якого креслення основними елементами являються лінії. Зображення і основне призначення ліній для зображення предметів на кресленнях усіх галузей промисловості встановлює ГОСТ 2.303-68. Товщина суцільної основної лінії, яка позначається літерою **s** має бути в межах від **0,5** до **1,4** мм залежно від величини і складності зображення, а також формату креслення. Товщина інших ліній подана в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Стили ліній

Найменування	Накреслення	Товщина лінії
Суцільна основна		S
Суцільна тонка		S/3...S/2
Суцільна хвиляста		S/3...S/2
Штрихова		S/3...S/2
Штрихпунктирна тонка		S/3...S/2
Розомкнута		S...1,5S

1. **Суцільна основна** застосовується для зображення видимого контуру предмета, контуру винесеного перерізу, що входить у розріз, видимих ліній переходу.

2. **Суцільна тонка** застосовується для зображення розмірних і виносних ліній, штриховки перерізів, контуру накладеного перерізу, лінії винесення, полиці ліній –

винесень, лінії для зображення пограничних деталей, лінії обмеження виносних елементів на видах, розрізах і перерізах, уявних ліній переходу, слідів площин, ліній побудови характерних точок при спеціальних побудовах.

3. **Суцільна хвиляста** застосовується для зображення ліній обриву, розмежування виду і розрізу.

4. **Штрихова лінія** застосовується для зображення невидимого контуру, ліній переходу невидимих.

5. **Штрихпунктирна тонка** застосовується для зображення ліній осевих і центрових ліній перерізів, що є осями симетрії для накладених або винесених перерізів.

6. **Розімкнена** лінія застосовується для позначення лінії перерізу.

Товщина ліній одного і того ж типу має бути однакою для усіх зображень на одному кресленні.

Довжину штрихів у штрихових і штрихпунктирних лініях потрібно вибирати залежно від розмірів зображення. Штрихи і проміжки між ними мають бути однакової довжини.

Штрихпунктирні лінії повинні перетинатися і закінчуватися штрихами. Штрихпунктирні лінії, вживані як центрові, замінюють суцільними тонкими лініями, якщо діаметр кола або розмір інших геометричних фігур у зображенні менше **12 мм**. На рисунку 3.2 подано приклади застосування деяких ліній.

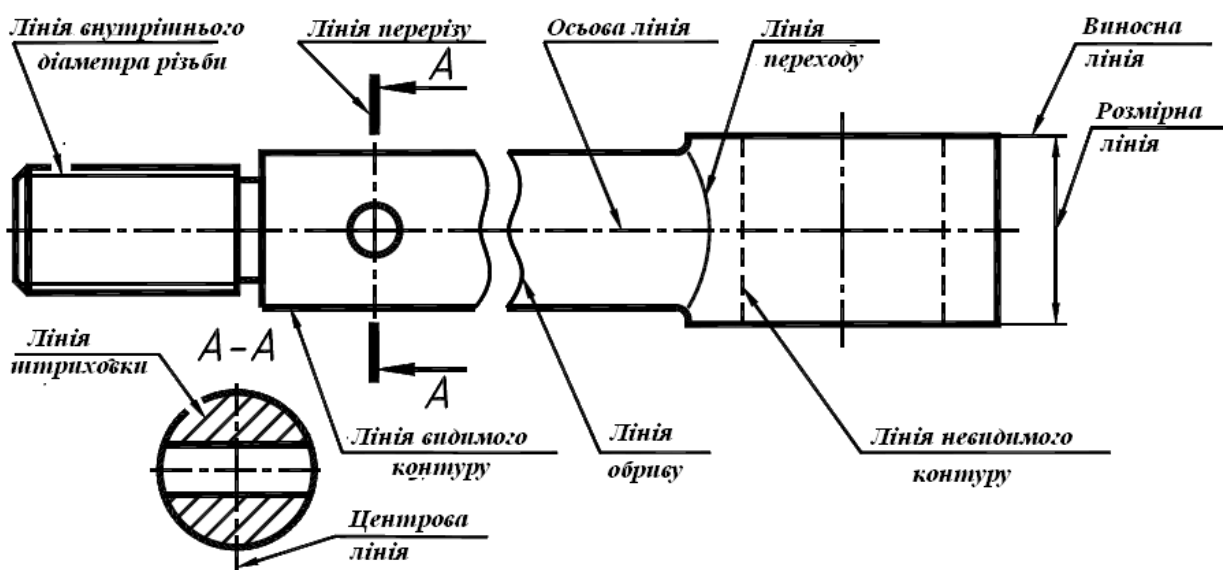


Рисунок 3.2

### 3.4 Шрифти креслярські

Креслення та інші конструкторські документи містять необхідні написи: назва виробів, розміри, дані про матеріал і т. д.

Усі написи на кресленнях повинні виконуватися шрифтом згідно з ГОСТ 2.304-81. Основним параметром шрифту є його розмір.

Розмір шрифту **h** – величина, визначена висотою прописних літер у міліметрах. Висота прописних літер вимірюється перпендикулярно до основи рядка.

Висота рядкових літер визначається з відношення їхньої висоти (без відростків  $k$ ) до розміру шрифту  $h$ , наприклад,  $c = 7/10 h$  (рис. 3.3).

Ширина літери  $g$  – найбільша ширина літери, виміряна відповідно до рисунка 3.3.

Товщина ліній шрифту  $d$  залежить від типу і висоти шрифту.

Стандартом установлені такі розміри шрифту: 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40.

Цим стандартом установлені два типи шрифтів : тип **A** і тип **B**, кожен із яких можна виконувати з нахилом або без нахилу. Рекомендується використовувати шрифт типу **B** із нахилом  $75^\circ$  до основи рядка.

Усі параметри шрифту типу **B** вимірюються кількістю доль, рівних  $1/10$  частин розміру шрифту. Шрифти зазвичай виконують за допомогою сітки з кроком  $d$ , у яку вписують літери.

Крок  $d$  дорівнює товщині ліній шрифту.

Приклад написання літер і цифр наведений на рисунках 3.4 і 3.5.

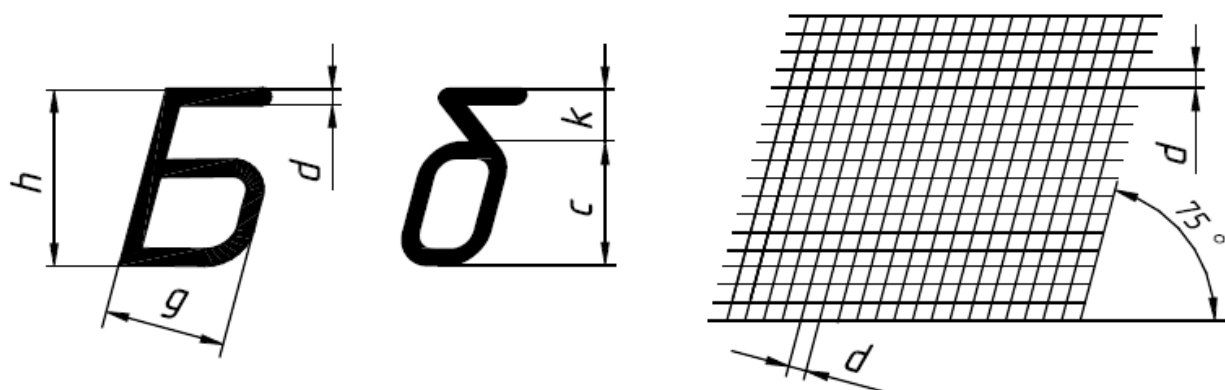


Рисунок 3.3

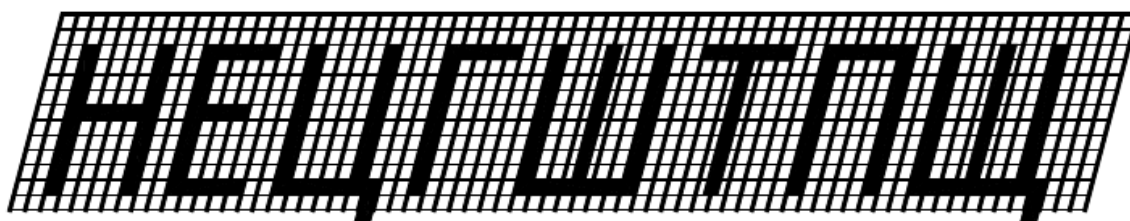
### Особливості конструкції літер, цифр і знаків.

#### Прописні літери.

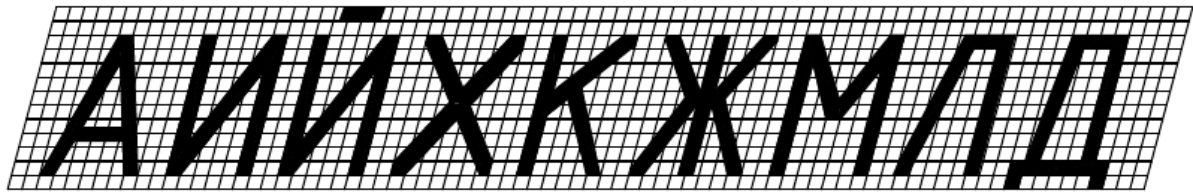
Прописні літери за їхнім написанням можна розділити на чотири групи.

Літери першої групи: **Г, Н, П, Т, Ц, Е, Ш, Щ** утворені прямолінійними елементами, розташованими горизонтально або під кутом  $75^\circ$  до основи рядка, (рис. 3.4, а).

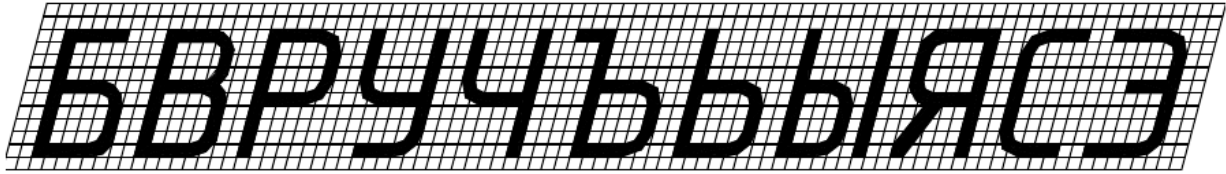
Літери другої групи : **А, І, Ї, Х, Д, Ж, М, Л, Ї** також утворені прямолінійними елементами, розташованими горизонтально або під кутом  $75^\circ$  до основи рядка і похило або діагонально, (рис. 3.4, б).



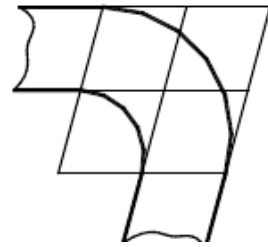
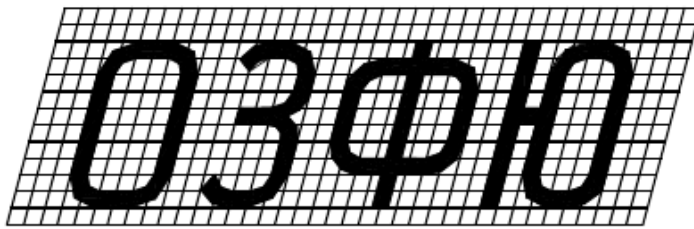
а



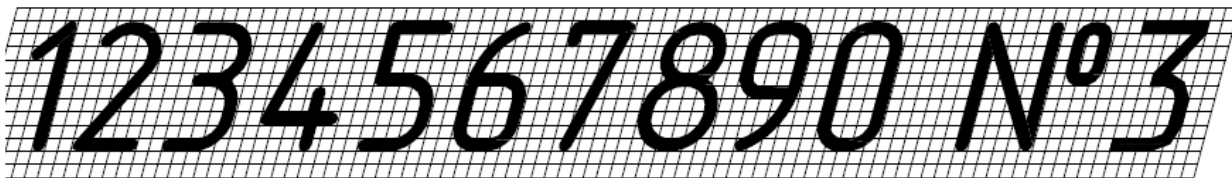
б



в



г



д

Рисунок 3.4

Літери третьої групи: **Б, В, Р, У, Ч, Ъ, Ь, Ы, Я, З, Э** утворені прямолінійними і криволінійними елементами, (рис.3.4, в).

Літери четвертої групи: **О, З, Ю, Ф** в основному складаються з криволінійних елементів, (рис. 3.4, г).

Висота прописних літер – **10d**. Ширина літер: **Ж, Ф, Ъ, Ш, Щ**, – **8d**; ширина літер : **А, Д, М, Х, Ы, Ю** – **7d**; інших – **6d**.

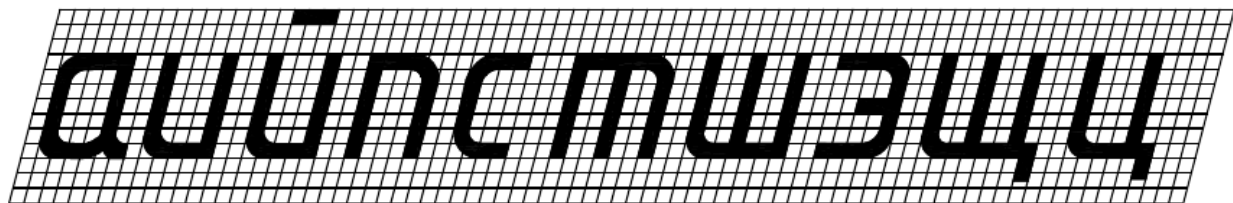
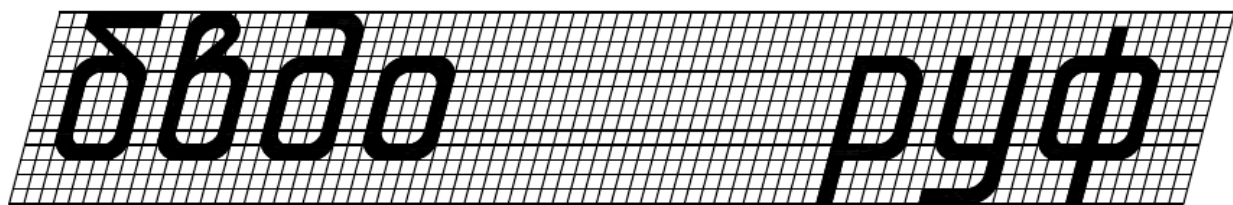
### Цифри

За характером зображення арабські цифри підрозділяються на дві групи:

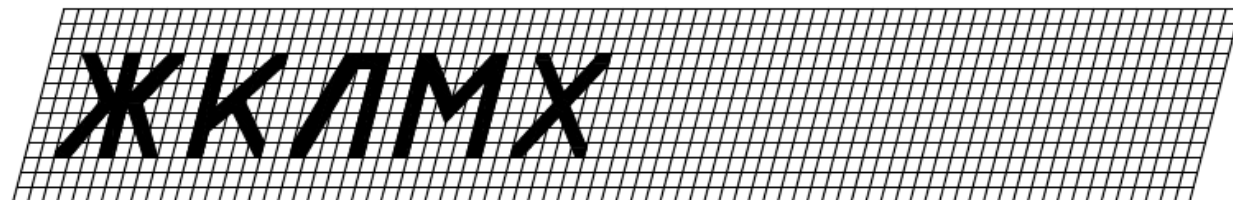
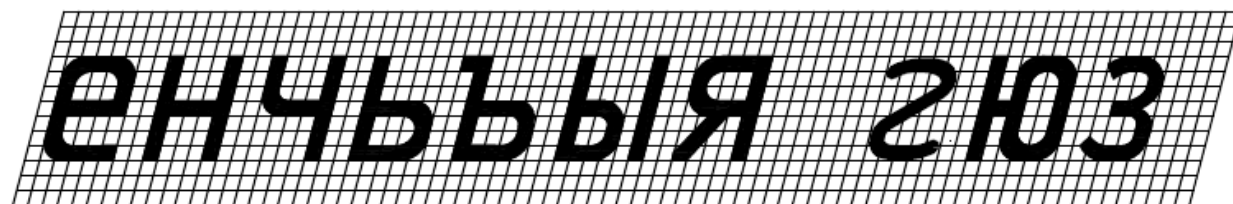
- 1) цифри **1, 4, 7**, що складаються тільки з прямолінійних елементів;
- 2) цифри **2, 3, 5, 6, 8, 9, 0**, що складаються з поєднання прямолінійних і криволінійних елементів, (рис. 3.4, д). Висота цифр дорівнює висоті прописних літер – **10d**. Ширина усіх (окрім цифр **1 і 4**): – **5d**; ширина цифри **4** – **6d**; цифри **1** – **3d**.

### Рядкові літери

З усього алфавіту тільки 15 рядкових літер за конструкцією відрізняються від тих, що відповідають прописним. В основі зображення цих літер лежить конструкція елементів літери **О**, (рис. 3.5, а, б).



а



б

Рисунок 3.5

Висота рядкових літер – **7d**. При побудові шрифту по допоміжній сітці треба враховувати різну ширину літер. Літери: **ж, т, ф, ш, щ** – **7d**; літери: **м, ю, ы** – **6d**, – інші – **5d**.

Необхідно пам'ятати, що відстань між деякими літерами, наприклад, **Г і А, Г і Л** зменшується з **2d** до розміру, що дорівнює товщині лінії літер.

Мінімальна відстань між літерами в словах **2d**. Мінімальна відстань між словами – **6d**. Мінімальна відстань між рядками тексту – **17d**.

Зразок завдання «Шрифти креслярські» – титульний аркуш із практичного використання шрифтів креслярських згідно з ГОСТ 2.304–81 наведено в Додатку 1. Написи виконані на форматі креслярського паперу А3, шрифтом типу Б з нахилом.

Перші два рядки мають розмір 7, третій рядок – розмір 5, напис по сітці – розмір 14, блоки «виконав» і «перевірив» – розмір 7, рік – розмір 10.

### 3.5 Основні правила нанесення розмірів

ГОСТ 2.307-68 установлює правила нанесення розмірів на кресленнях. Нанести розміри на кресленні – означає так розташувати виносні і розмірні лінії, розмірні числа, щоб виключити можливість їх хибного тлумачення і забезпечити зручність читання креслення. Кількість розмірів на кресленні має бути мінімальною, але достатньою для виготовлення і контролю виробу.

Не допускається повторювати розміри одного елементу на різних зображеннях і наносити розміри у вигляді замкнутого ланцюга. Розміри на кресленнях вказують розмірними числами і розмірними лініями. Основою для визначення величини предмета є розмірні числа, нанесені на кресленні. Розмірні числа повинні відповідати дійсним розмірам зображуваного предмета, незалежно від того, у якому масштабі і з якою точністю виконано креслення.

Розміри бувають лінійні: довжина, ширина, висота, величина діаметру, радіусу, дуги і кутові – розміри кутів. Лінійні розміри вказують на кресленні в міліметрах, одиницю виміру на кресленні не вказують. Розміри, наведені в технічних вимогах і написах на полі креслення, обов'язково вказують з одиницею виміру.

Кутові розміри вказують у градусах, хвилинах і секундах з позначенням одиниці, наприклад,  $12^{\circ}45'30''$ . Деякі кутові розміри задають значеннями ухилу або конусності.

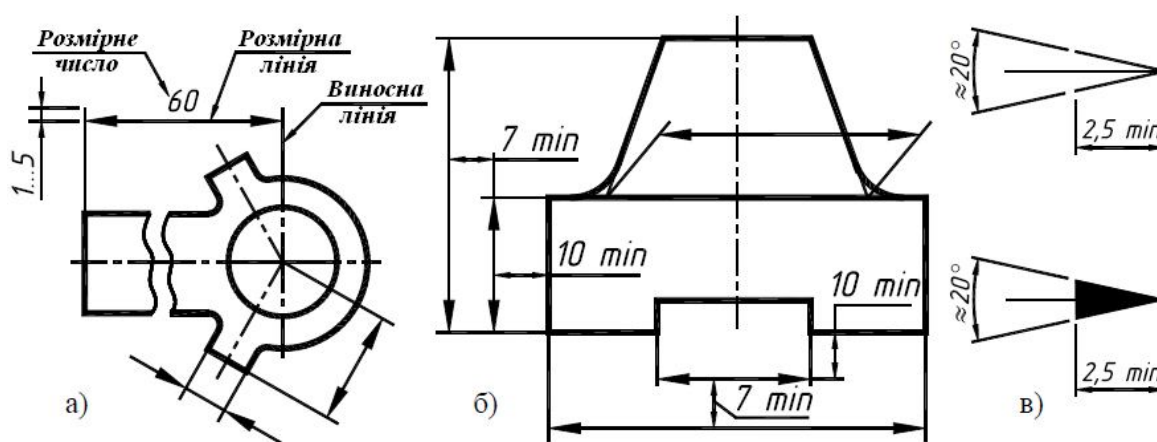


Рисунок 3.6

При нанесенні розміру прямолінійного відрізка розмірну лінію проводять паралельно цьому відрізку, а виносні лінії – перпендикулярно розмірним лініям (рис. 3.6, а). За виключенням випадків, коли вони разом з вимірюваним відрізком утворюють паралелограм (рис. 3.6, б). Розмірну лінію з обох кінців обмежують стрілками, що упираються у виносні або контурні лінії.

Виносні лінії повинні виходити за кінці стрілок розмірної лінії на 1...5 мм, (рис. 3.6, а). Стрілки мають бути однаковими на усьому кресленні. Форма стрілки і приблизне співвідношення її елементів подано на рисунку 3.6, в.

Відстань між розмірними лініями вибирають залежно від розмірів зображення і насиченості креслення. Мінімальна відстань між паралельними розмірними лініями – **7 мм**, між розмірною і лінією контуру – **10 мм**, (рис. 3.6, б).

При зображенні виробу з розривом розмірну лінію не переривають (рис. 3.6, а) і наносять дійсний розмір.

Не можна використовувати лінії контуру, осьові, центрові і виносні в якості розмірних ліній.

Необхідно уникати перетину розмірних і виносних ліній. Розміри, що належать до внутрішніх поверхонь деталі, проставляють із боку розрізу, а до зовнішніх поверхонь – із боку виду.

Якщо вид або розріз симетричного предмета зображують тільки до осі симетрії або з обривом, то розмірні лінії, що належать до цих елементів, проводять з обривом. Обрив розмірної лінії роблять далі за вісь або лінією обриву предмета (рис. 3.7, а).

Указуючи розмір діаметру кола, розмірні лінії допускається проводити з обривом незалежно від того, чи зображено коло повністю або частково. Розрив розмірної лінії роблять далі за центр кола (рис. 3.7, б).

Під час нанесення розміру кута розмірну лінію проводять у вигляді дуги з центром у вершині кута, а виносні лінії – радіально, (рис. 3.7, в).

У разі відсутності місця для стрілки через близько розташовану контурну лінію, її необхідно перервати. Розмірні стрілки перетинати будь-якими лініями не допускається.

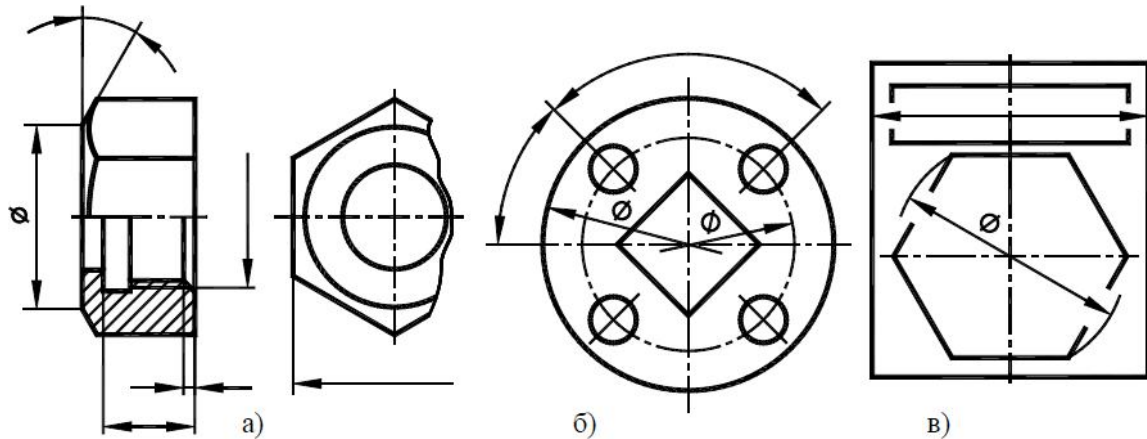


Рисунок 3.7

У тих випадках, коли довжина розмірної лінії недостатня для розміщення на ній стрілок, розмірну лінію продовжують за виносні лінії і стрілки наносять, як показано на рисунку 3.7, а.

У разі відсутності місця для стрілок їх допускається замінювати зарубками під кутом  $45^\circ$  до розмірних ліній (рис. 3.8, б) або чітко написаними точками (рис. 3.8, в).

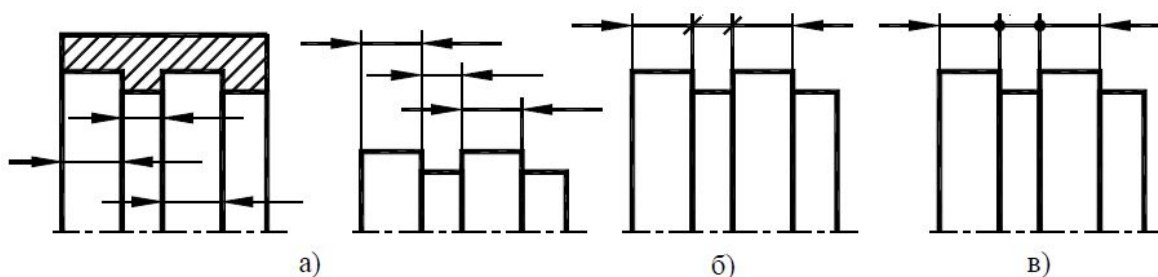


Рисунок 3.8

Виносні лінії проводять, переважно, від ліній видимого контуру або точок перетину їх продовжень, центрів кіл, дуг. Виносні лінії допускається проводити від ліній невидимого контуру, якщо відпадає необхідність у викреслюванні додаткового зображення.

Розмірні числа наносять над розмірною лінією якомога ближче до її середини (рис. 3.7, а). Проте під час нанесення розміру діаметру усередині кола розмірні числа зміщують відносно середини розмірних ліній (рис. 3.7, б).



Під час нанесення декількох паралельних або концентричних розмірних ліній розмірні числа над ними рекомендується розташовувати в шаховому порядку, (рис. 3.9).

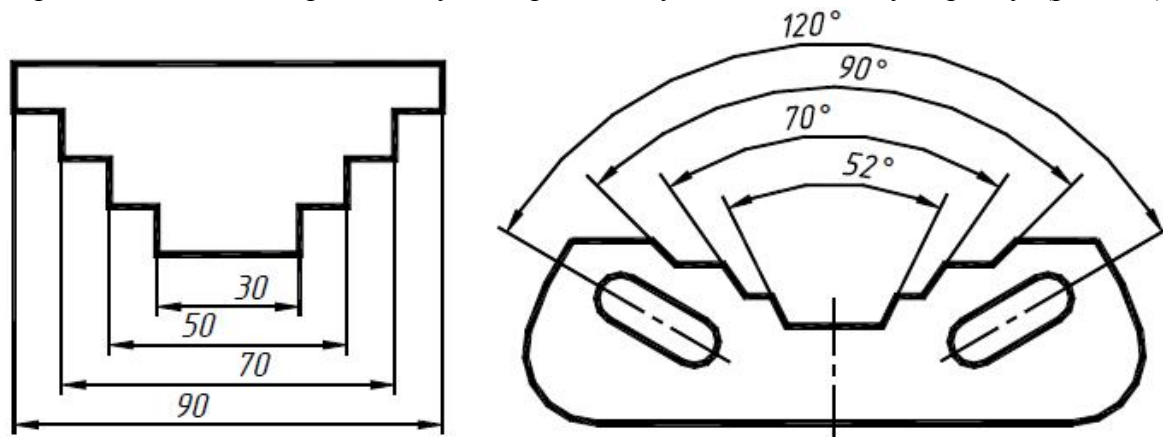


Рисунок 3.9

Розташування розмірних чисел лінійних розмірів за різних нахилів розмірних ліній подано на рисунку 3.10, а. Проставлення кутових розмірів показана на рис. 3.10, б. У зоні, розташованій вище горизонтальної осьової лінії, розмірні числа поміщають над розмірними лініями з боку опуклості, у протилежній зоні – з боку угнутості. У заштрихованій зоні (рис. 3.10, а, б) розмірні числа вказують на горизонтальних полках (рис. 3.11, а).

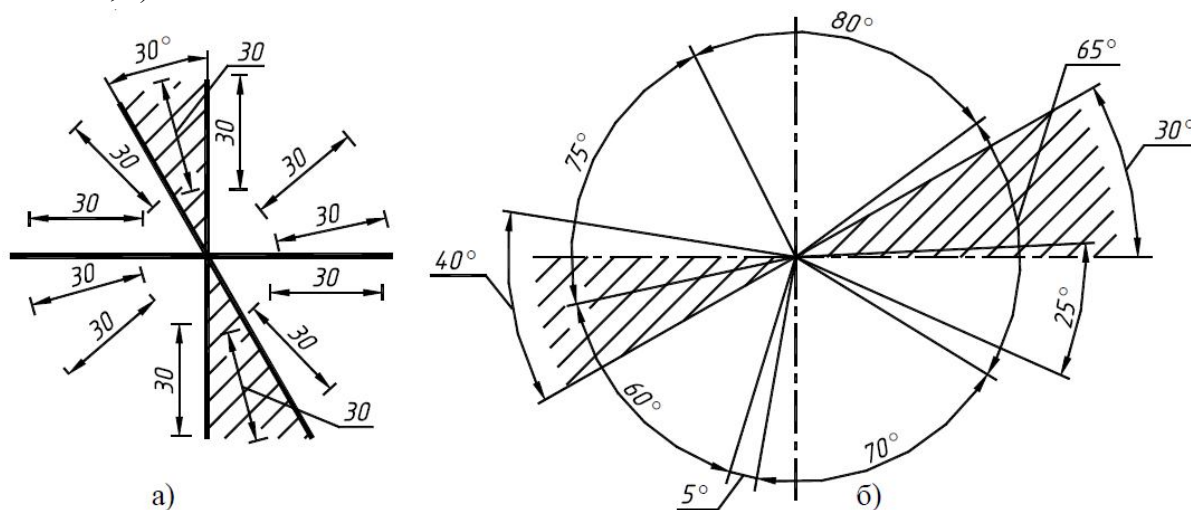


Рисунок 3.10

Для кутів малих розмірів у разі нестачі місця розмірні числа поміщають на полках ліній-виносок у будь-якій зоні (кут  $5^\circ$  на рис. 3.11, б).

Якщо для нанесення стрілок або написання розмірного числа недостатньо місця, то їх наносять так, як показано на рисунку 3.7. Спосіб нанесення розмірного числа за різних положень розмірних ліній (стрілок) визначається найбільшою зручністю читання креслення. **Варіант нанесення розмірного числа на полиці ліній-виноски паралельно основному напису креслення є переважним.**

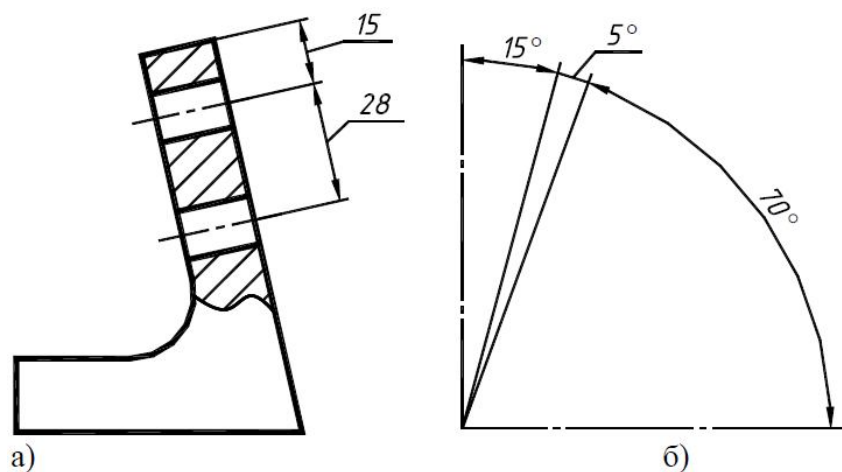


Рисунок 3.11

Указуючи розміру діаметра, в усіх випадках перед розмірним числом ставлять знак  $\varnothing$  (рис. 3.7, б, в, рис. 3.12).

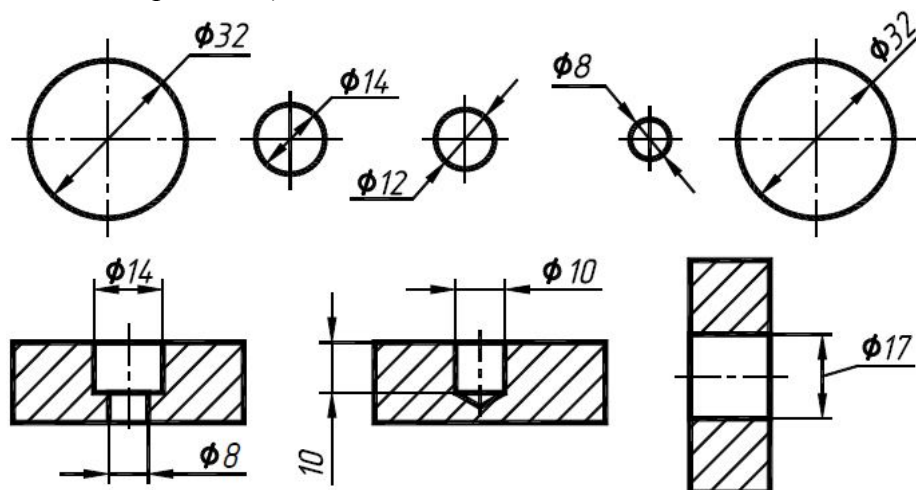


Рисунок 3.12

Під час нанесення розміру радіусу з центру дуги проводять розмірну лінію, яка закінчується з боку дуги стрілкою, а перед розмірним числом ставлять прописну літеру **R**, (рис. 3.13, а). Нанесення розмірів радіусів зовнішніх і внутрішніх скруглень – на рисунку 3.13, б, в.

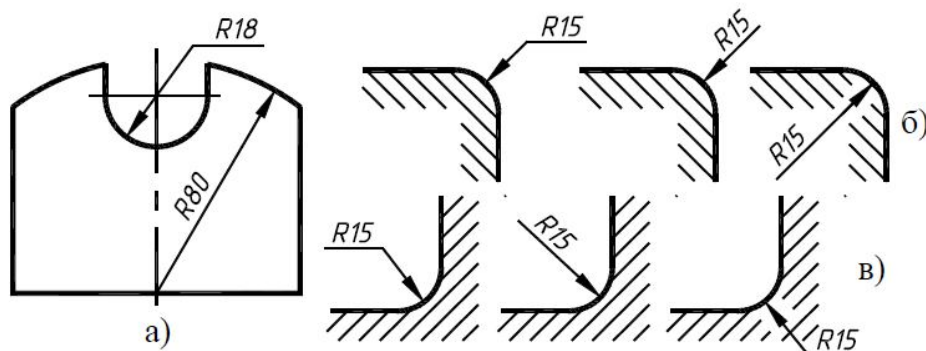


Рисунок 3.13

Під час проведення декількох радіусів з одного центру розмірні лінії не розташовують на одній прямій (рис. 3.14, а).

Якщо під час нанесення розміру радіусу дуги необхідно вказати розмір, який визначає положення її центру, то останній зображують у вигляді перетину центрових або виносних ліній.

У разі великої величини радіусу центр допускається наближати до дуги, у цьому випадку розмірну лінію радіусу показують із зломом під кутом  $90^\circ$  (рис. 3.14, б).

Якщо не вимагається вказувати розміри, що визначають положення центру дуги, то розмірну лінію радіусу допускається не доводити до центру і зміщувати її відносно центру (рис. 3.14, в).

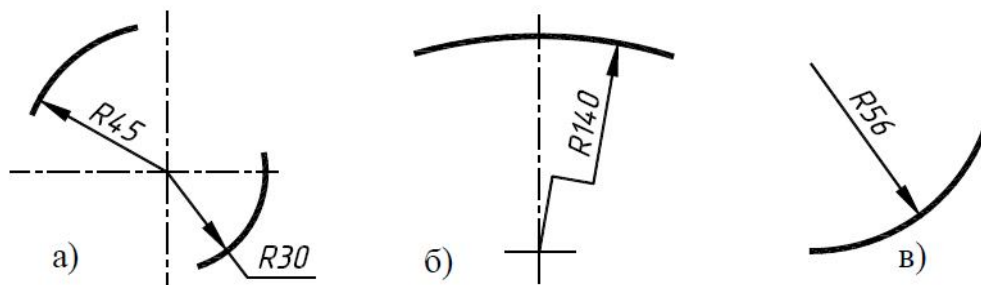


Рисунок 3.14

Перед розмірним числом діаметра або радіусу сфери наносять знак  $\varnothing$  або **R** без напису **Сфера**, (рис. 3.15, а, б), Проте якщо на кресленні зображення сфери неоднозначне, то перед розмірним числом діаметра (радіусу) можна наносити слово **Сфера** або знак **O**, наприклад **O  $\varnothing 18$** , (рис. 3.15, в). Діаметр знаку сфери дорівнює висоті розмірних чисел на кресленні.

Розміри квадрата вказують зі знаком  $\square$  (рис 3.16), якщо вимоги до точності розташування усіх граней однакові. Висоту знаку квадрата приймають такою, що дорівнює висоті розмірних чисел. Знак квадрата виконують без нахилу.

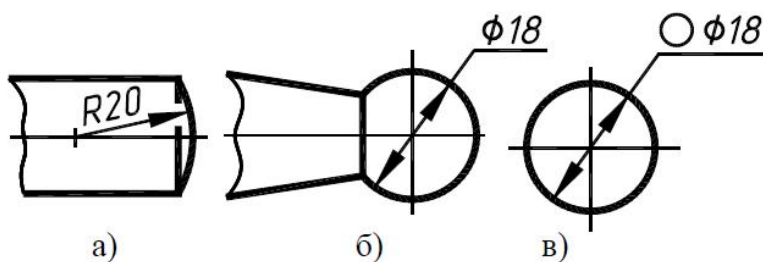


Рисунок 3.15

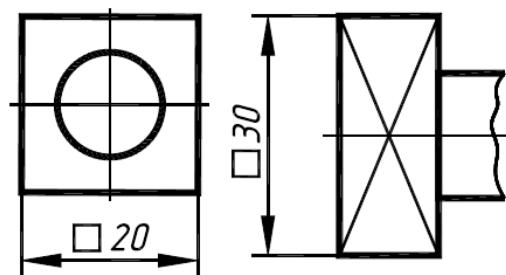


Рисунок 3.16

Деякі кутові розміри задають значеннями **ухилу** і **конусності**. **Ухил** – це тангенс кута нахилу цієї прямої (площини) до якої–небудь іншої прямої (площини). Ухил поверхні вказують безпосередньо біля зображення поверхні ухилу або на полиці лінії-виноски у вигляді співвідношення (рис. 3.17, а) або у відсотках (рис. 3.17, б). Перед розмірним числом, що визначає ухил, наносять знак  $\sphericalangle$ , гострий кут якого спрямований у бік ухилу.

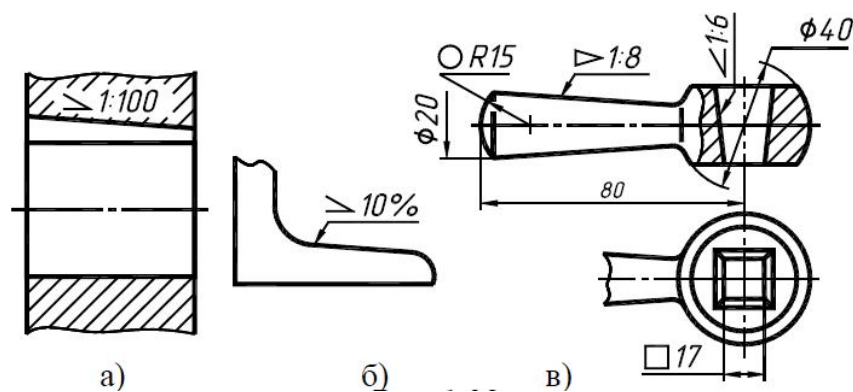


Рисунок 3.17

Під **конусністю** розуміють відношення різниці діаметрів двох поперечних перерізів конуса до відстані між ними. Перед розмірним числом, що характеризує конусність, наносять знак, гострий кут якого має бути спрямований у бік вершини конуса (рис. 3.17, в). Знак конуса і конусність у вигляді співвідношення потрібно наносити над осьовою лінією чи на полиці лінії-виноски (рис. 3.18).

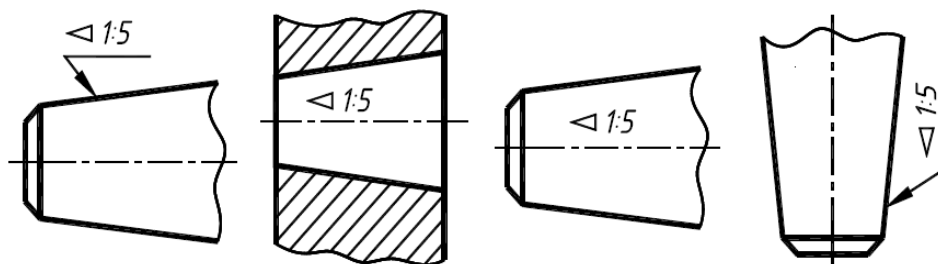


Рисунок 3.18

Розмір фаски під кутом  $45^\circ$  наносять, як показано на рисунку 3.19, а. Розміри фасок під іншими кутами вказують за загальними правилами – лінійними і кутовими розмірами, (рис. 3.19, б) або двома лінійними, (рис. 3.19, в). Зображуючи деталь на одному виді, розмір її товщини, наприклад,  $s_{0,8}$ , наносять на полиці лінії-виноски, як показано на рисунку 3.19, в.

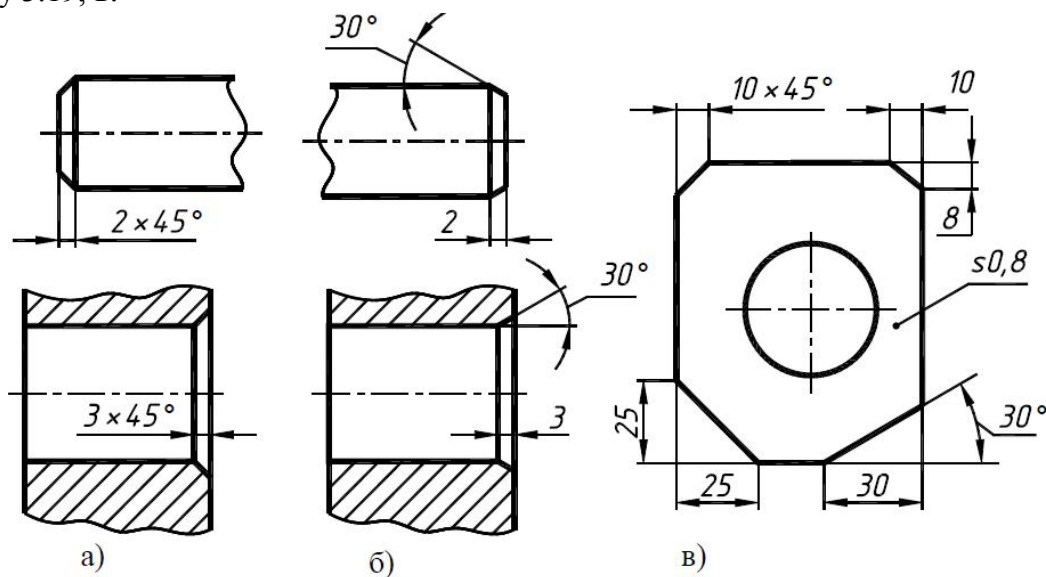


Рисунок 3.19

Розміри декількох однакових елементів виробу здебільшого наносять один раз із позначенням на полиці лінії-виноски кількості цих елементів (рис. 3.20, а). Під час нанесення розмірів отворів із zenкуванням під голівки гвинтів вказують кількість основних отворів (рис. 3.20, б).

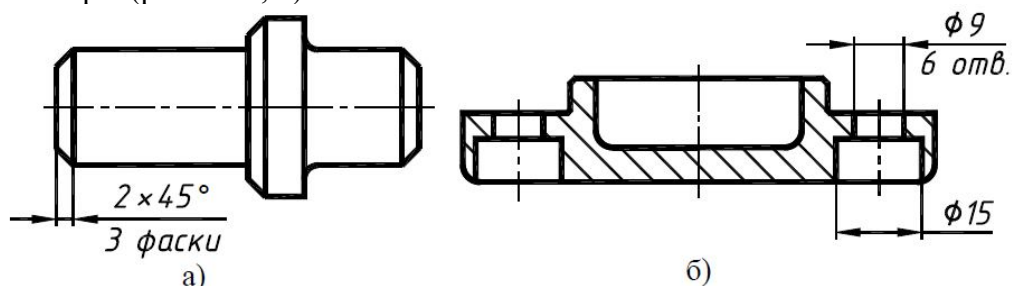


Рисунок 3.20

Під час нанесення розмірів елементів, рівномірно розташованих по колу виробу (наприклад, отворів) замість куткових розмірів, що визначають взаємне розташування елементів, вказують тільки їхню кількість (рис. 3.21, а). Якщо необхідно координувати рівномірно розташовані елементи відносно деякого елемента деталі (наприклад, паза шпонки), то поступають так, як показано на рисунку 3.21, б. На рисунку 3.21 наведені креслення деталей в одній проекції. Товщина цих деталей вказана на полицях ліній-виносок ( $s_{0,6}$  і  $s_1$ , відповідно).

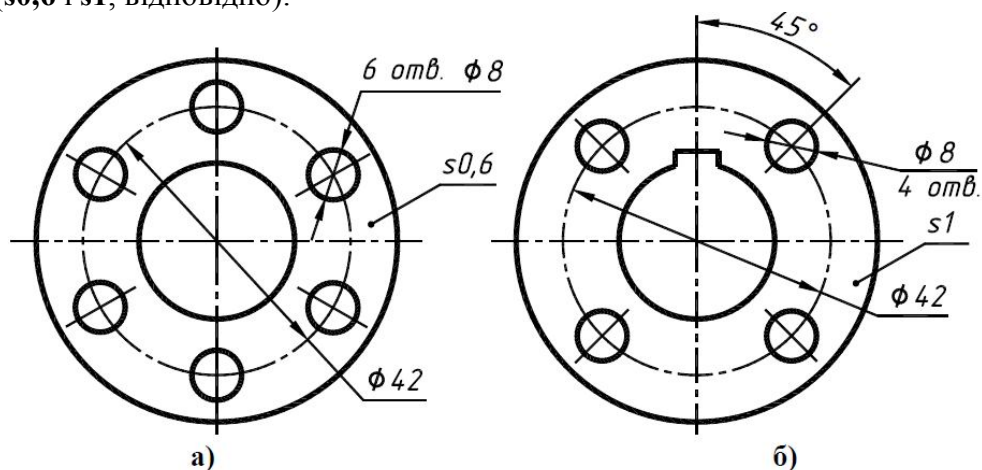


Рисунок 3.21

Розміри, що належать до одного і того ж конструктивного елемента (пазу, виступу, отвору і т. п.), рекомендується групувати в одному місці, розташовуючи їх на тому зображенні, на якому геометрична форма цього елемента показана якнайповніше (рис. 3.22).

На рисунку 3.23 наведено зображення знаків діаметра, сфери, радіусу, квадрата, конусності.

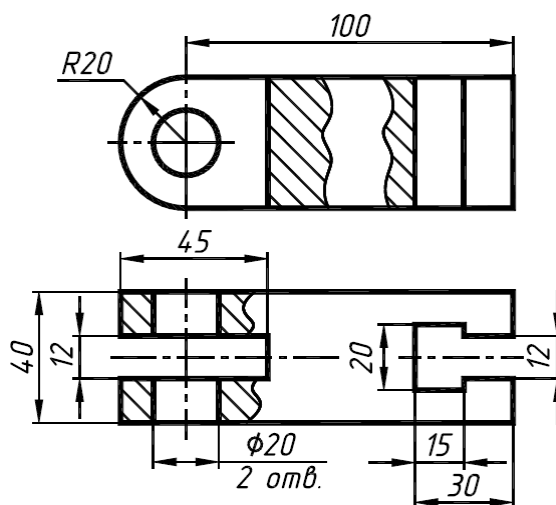


Рисунок 3.22

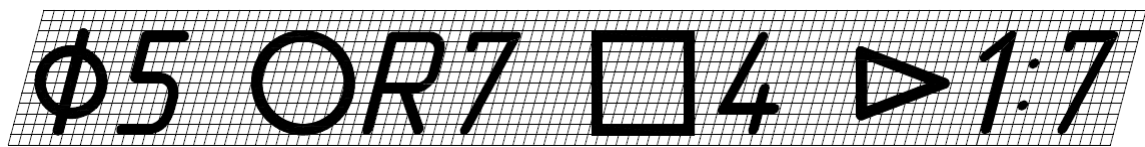


Рисунок 3.23

**Задати розміри на кресленні** – означає визначити той необхідний мінімум розмірів, який потрібний для забезпечення виготовлення і контролю деталі відповідно до вимог конструкції, і які дозволяють застосувати до деталі різні варіанти технологічного процесу.

Під час виконання завдань по курсу «проекційне креслення» використовують спрощений, так званий *геометричний принцип вибору розмірів* на кресленні моделі (деталі).

Розміри задають у такій послідовності:

1) **геометричні** (розміри форми) – це розміри, які визначають геометричну форму фігур, що утворюють деталь. Для задання форми будь-якої з цих фігур необхідно не більше трьох розмірів (довжина, ширина, висота, (рис. 3.24);

2) **координатні** розміри, що характеризують відносне положення геометричних фігур, які утворюють деталь;

3) **габаритні** розміри, що визначають довжину, ширину і висоту деталі.

Під час вивчення просторової форми деталі необхідно виходити з того, що будь-яка деталь, якою б складною вона не була, є поєднанням простих геометричних фігур і поверхонь: призм, пірамід, циліндрів, конусів, сфер, поверхонь тора. Побудова зображень будь-якої деталі, зрештою, зводиться до побудови зображень цих простих геометричних фігур і поверхонь, що утворюють її. Отже, осмислення просторової форми деталі варто розпочинати з розчленовування її на складові геометричні фігури (разом із порожнинами).

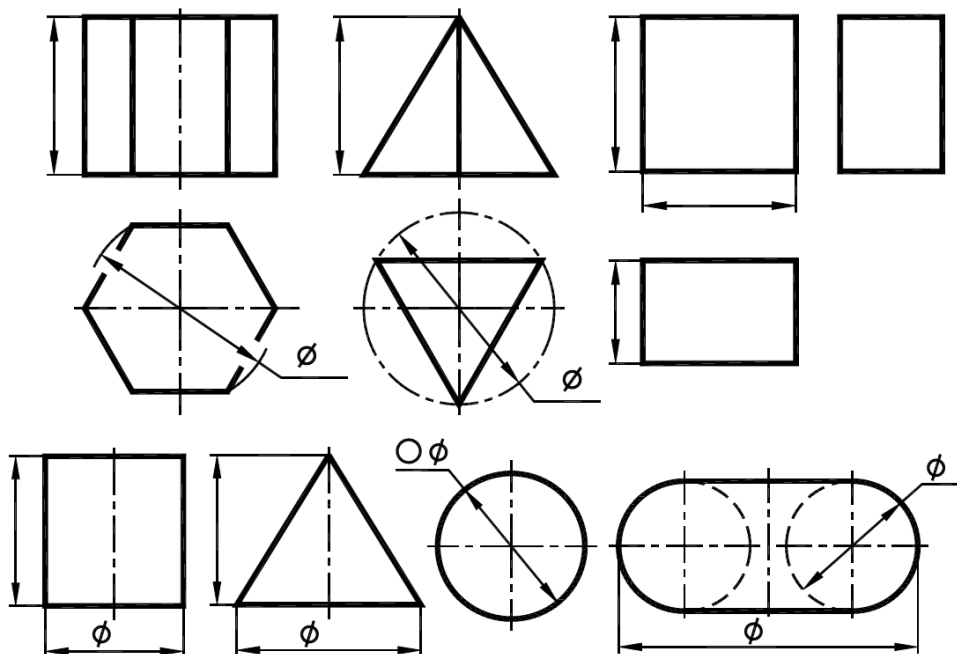


Рисунок 3.24

## 4 КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

### 4.1 Ескізування

В умовах виробництва і під час конструювання нових виробів інколи виникає необхідність у кресленнях тимчасового характеру – ескізах.

Ескіз – креслення, виконане без допомоги креслярських інструментів (від руки) без дотримання масштабу, але зі збереженням пропорціональності елементів деталі, містить зображення деталі та інші дані, необхідні для її виготовлення і контролю (розміри, допуски, позначення шорсткості поверхонь, вказівки про матеріал і т. п.).

Ескіз моделі (деталі) повинен містити:

1) три зображення – сукупність трьох видів із указаними розрізами. (Три зображення незалежно від форми моделі виконуються із навчальною метою). Під час виконання ескізу деталі кількість зображень вибирається залежно від її форми, забезпечуючи зворотність креслення;

2) розміри, необхідні для виготовлення моделі (деталі) і контролю;

3) основний напис за формою 1 ГОСТ 2.104-68.

Рекомендується така послідовність виконання ескізів моделей (деталей).

1. Підготувати аркуш паперу формату А3 (ГОСТ 2.301-68), накреслити внутрішню рамку і в правому нижньому кутку – основний напис.

2. Уважно оглянувши модель (деталь), проаналізувати її форму шляхом уявного розчленовування на прості геометричні фігури або їхні частини.

3. Вибрати положення моделі (деталі) для побудови її головного зображення.

4. Визначити співвідношення габаритних розмірів моделі (деталі) і тонкими суцільними лініями нанести габаритні прямокутники, які відповідають зображенням моделі (деталі), із метою рівномірного заповнення поля формату. Провести осьові лінії (осі поверхонь обертання, осі симетрії зображень).

5. Побудувати три види моделі в тонких лініях, дотримуючись проекційного зв'язку. Штриховими лініями показати внутрішній контур моделі (якщо є достатні навички виконання креслень, то штрихові лінії можна не креслити).

6. Виконати задані розрізи тонкими лініями.

7. Нанести штрихування розрізів згідно з ГОСТ 2.306-68.

8. Нанести виносні і розмірні лінії, стрілки, проставити знаки діаметрів, радіусів, ухилів і конусності (ГОСТ 2.307-68).

Під час виконання завдань із інженерної графіки використовується спрощений геометричний принцип задання розмірів на кресленні:

а) задають розміри, які визначають кожну з простих геометричних форм, що утворюють деталь – **розміри форми**;

б) задають **розміри положення** – це розміри, які характеризують відносне положення геометричних форм, що утворюють деталь.

Відстані між крайніми точками деталі по довжині, висоті та ширині називають **габаритними розмірами**. Габаритні розміри є сумою розмірів форми або співпадають із ними.

9. Позначити розрізи, якщо це необхідно (ГОСТ 2.305-68).

10. Перевірити правильність виконаних зображень, прибрати зайві лінії.

11. Обмірити деталь і записати розмірні числа.



12. Обвести ескіз лініями необхідної товщини згідно з ГОСТ 2.303-68.
13. Заповнити основний напис.
14. Повторно перевірити правильність виконаного ескізу.

## 4.2 Виконання ескізу моделі (деталі)

**Задача 1.** Виконати ескіз моделі, що складається з трьох зображень. Ескіз повинен містити:

- зображення на місці головного виду, що складається з половини виду спереду і половини фронтального розрізу;
- вид зверху, якщо необхідно, то половину виду зверху з половиною горизонтального розрізу;
- зображення на місці виду зліва, що складається з половини виду ліворуч і половини профільного розрізу;
- необхідні перерізи, місцеві розрізи, види.

Етапи виконання ескізу:

1. Вибір положення моделі відносно площин проекцій.

Модель, взята як зразок, має дві площини симетрії  $\Sigma$  і  $\Delta$  (рис. 4.1).

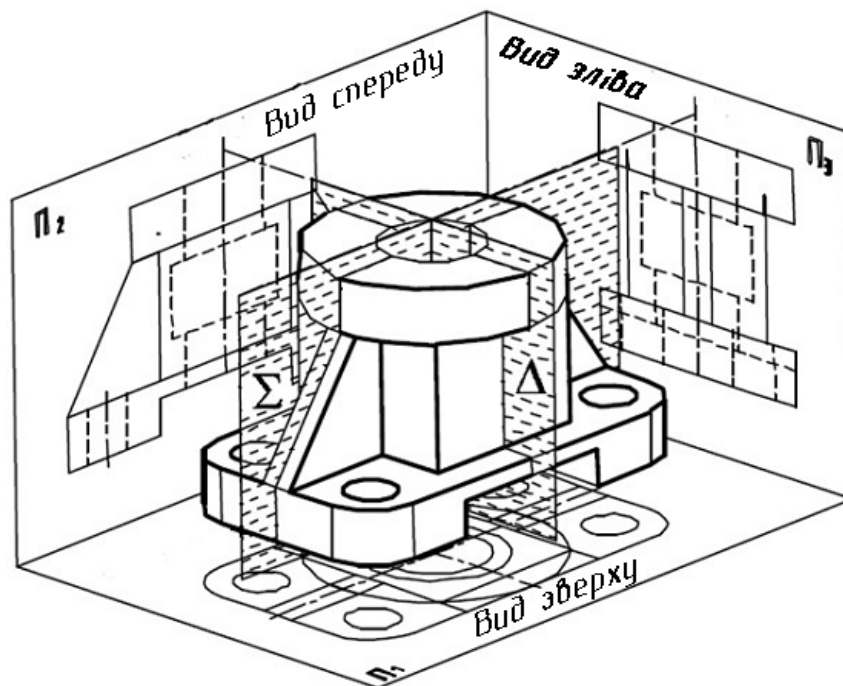


Рисунок 4.1

Модель розташовується так, щоб подовжня площина симетрії  $\Sigma$  була паралельна фронтальній площині проєкцій, відповідно до цього встановлюються наступні три основні види.

Зображення на фронтальній площині – **вид спереду** або **головний вид**, він повинен давати найповніше уявлення про модель. Зображення на горизонтальній площині – **вид зверху**.

Зображення на профільній площині проєкцій – **вид ліворуч**.

2. Розмітка формату паперу.



Для рівномірного розподілу зображень на ескізі робиться розмітка паперу формату А3 так, щоб дотримувався проекційний взаємозв'язок між габаритними прямокутниками, а самі прямокутники відбивали пропорції між довжиною, висотою і шириною моделі. Примірне розташування габаритних прямокутників на форматі А3 подано на рисунку 4.2.

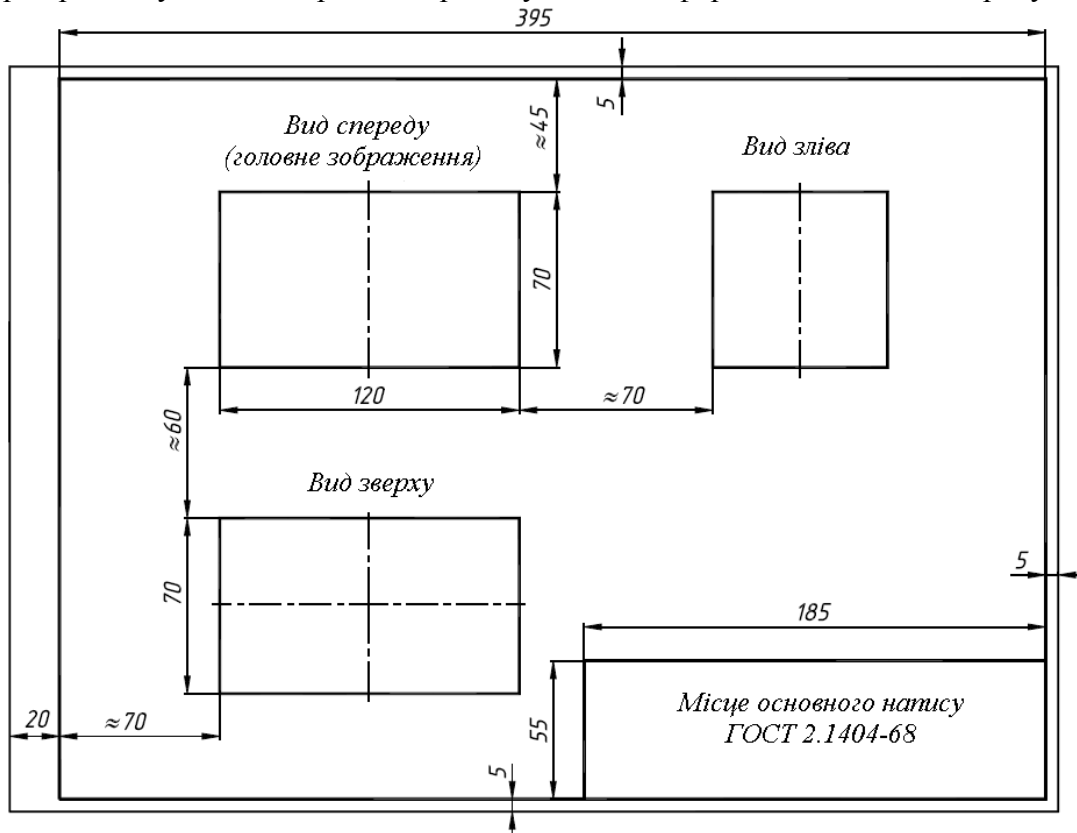


Рисунок 4.2

### 3. Побудова видів моделі.

У габаритних прямокутниках тонкими лініями будують зовнішні та внутрішні контури відповідних видів (рис. 4.3).

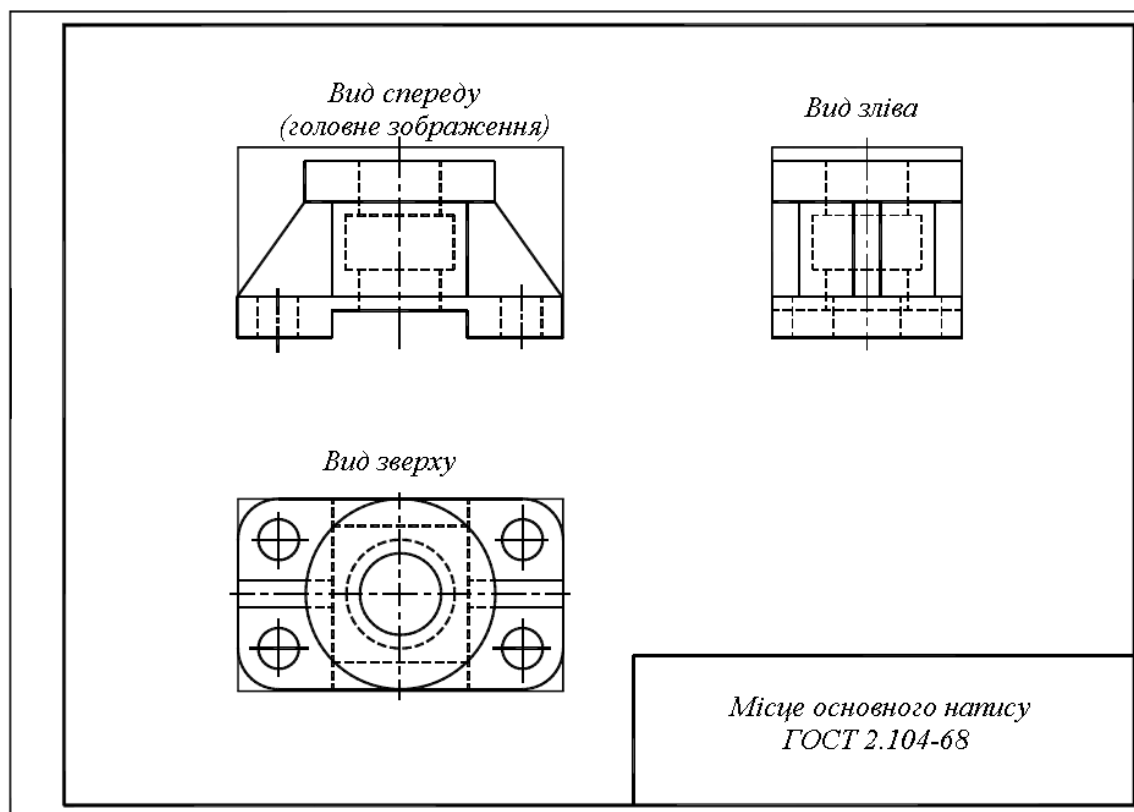


Рисунок 4.3

Допускається будувати невидимі внутрішні контури видів суцільною тонкою лінією тільки з боку розрізу, якщо подальше виконання зображень цілком зрозуміле.

Побудову розпочинають із проведення осей симетрії як самого виду, так і осей симетрії його окремих елементів, наприклад отворів. Потім симетрично осям проводяться видимі й невидимі контури зображення. Осі симетрії і контури видів повинні знаходитися в проекційному взаємозв'язку, тобто розташовуватися на одних вертикальних лініях зв'язку. Осьові та центрові лінії – це кістяк, на якому будується зображення моделі. Нанесення їх на ескізі або кресленні обов'язкове, оскільки вони визначають положення і пропорції частин моделі.

#### 4. Формування зображень.

Креслення деталі, що складається тільки з ліній видимого контуру і безлічі штрихових ліній невидимого контуру, складне і неоднозначне в прочитанні. З огляду на це для повнішого уявлення про конструкцію деталі, її окремих елементів, проставлення розмірів тощо креслення, окрім видів, містить розрізи, перерізи, комбіновані зображення з видів і розрізів.

Просторові уявлення про формування таких зображень наведені нижче.

#### **Формування зображення на місці головного виду**

Для побудови фронтального розрізу використовується площина симетрії моделі  $\Sigma$ , паралельна фронтальній площині проєкцій (рис. 4.4). Усе, що потрапляє в січну площину (переріз), заштриховують тонкими суцільними паралельними лініями, розташованими під кутом  $45^\circ$  до рамки кресленика або контурам зображення.

Ряд деталей та їхніх елементів при подовжньому розрізі показують нерозсіченими. Зокрема, до таких елементів належать ребра жорсткості і, як подано на рисунку 4.4, на розрізі вони не заштриховуються.

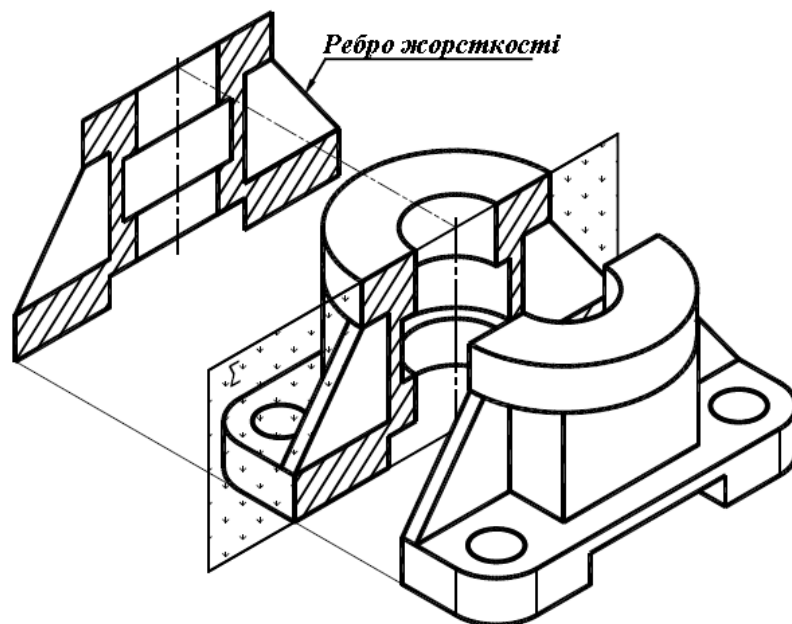


Рисунок 4.4

#### ***Половина виду спереду і половина фронтального розрізу***

Допускається сполучати частину виду і частину відповідного розрізу, розділяючи їх суцільною хвилястою лінією. Якщо при цьому з'єднуються половина виду і половина розрізу, кожен із яких є симетричною фігурою, то роздільною лінією є вісь симетрії (рис. 4.5). На частині виду, у цьому випадку, можна виконати місцевий розріз.

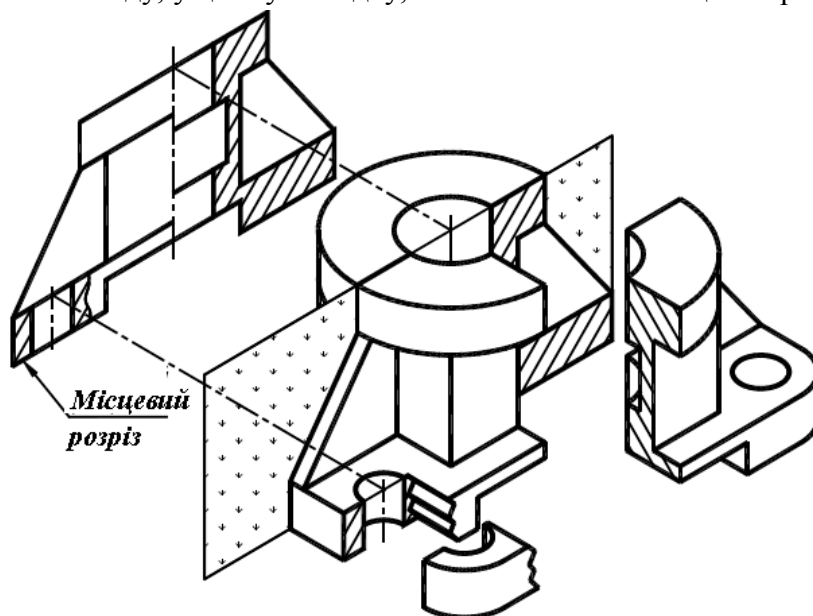


Рисунок 4.5

#### ***Місцевий розріз***

Місцевим називається розріз, який використовується для з'ясування облаштування предмета лише в окремому, обмеженому місці. Місцевий розріз виділяється на виді

суцільною хвилястою лінією, яка не повинна співпадати з якими-небудь іншими лініями зображення. На рисунку 4.5 місцевий розріз показує, що отвір у моделі наскрізний.

#### ***Зображення на місці виду ліворуч***

Для побудови профільного розрізу цієї моделі як січна використовується площина симетрії  $\Delta$  (рис. 4.1), паралельна профільній площині проєкцій. Аналогічно, на місці виду ліворуч виконується комплексне зображення з половини виду ліворуч і половини профільного розрізу (рис. 4.6).

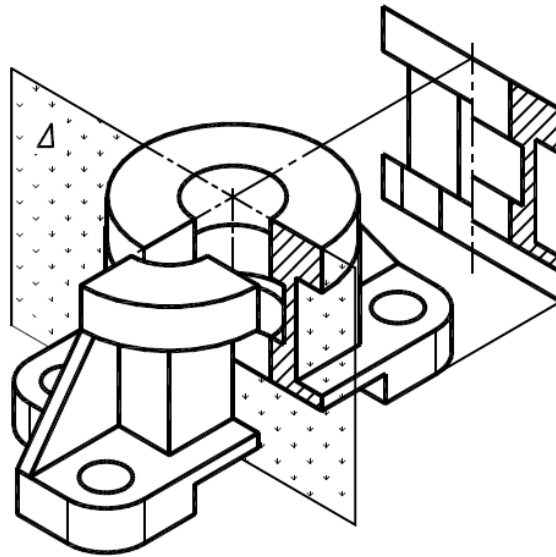


Рисунок 4.6

#### ***Зображення на місці виду зверху***

Розрізи або невидимі контури на виді зверху в цій роботі виконуються тоді, коли необхідно розкрити форму елементів, що складають модель. Оскільки множина штрихових ліній, що пояснює невидимі контури, може ускладнювати читання зображення, перевагу потрібно віддати розрізам.

У цій моделі верхній циліндричний елемент повністю закриває лежачу під ним призму, тому для показу її перерізу доцільно виконати горизонтальний розріз площиною  $\Omega$ , паралельною горизонтальній площині проєкцій (рис. 4.7).

Оскільки вид зверху і переріз, що утворюється симетричні, то треба виконати половину виду зверху і половину горизонтального розрізу.

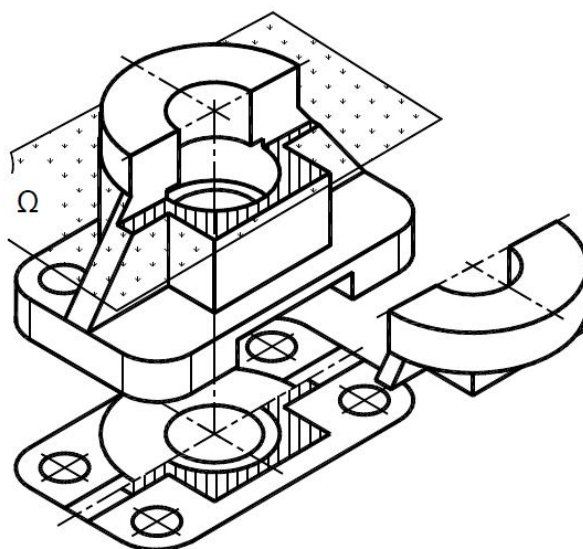


Рисунок 4.7

### ***Винесений переріз***

На усіх розглянутих видах і розрізах неповністю розкрита форма ребер жорсткості представленої моделі. Наприклад, неясно кромки ребер гострі або округляють. Для однозначної відповіді на це питання необхідно виконати переріз ребра.

На рисунку 4.8 показана просторова схема утворення винесеного перерізу. Січна площина  $\Psi$  має бути перпендикулярна верхній похилій грані ребра. Наводиться також похилий розріз, виконаний тією ж площиною, щоб показати відмінність між перерізом і розрізом.

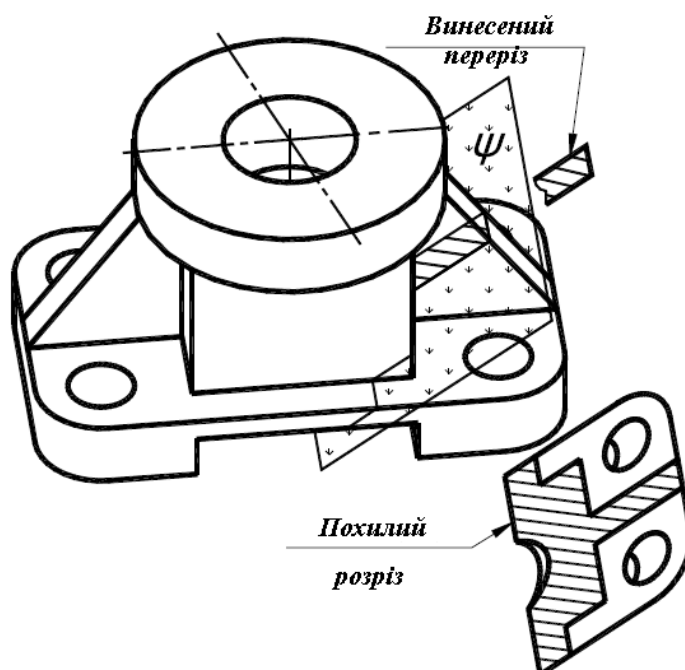


Рисунок 4.8

### ***Побудова зображень на ескізі***

На місці виду спереду справа тонкими лініями виконуються контури половини фронтального розрізу. Одночасно необхідно стирати, якщо вони є, лінії невидимого контуру ліворуч і лінії, що не входять у розріз (рис. 4.9).

Половину профільного розрізу також виконують праворуч від осі симетрії. Для виконання половини горизонтального розрізу на виді зверху необхідно спочатку намітити положення січної площини на головному виді так, щоб вона перетинала призматичний елемент моделі. Цей розріз на виді зверху виконується знизу від осі симетрії.

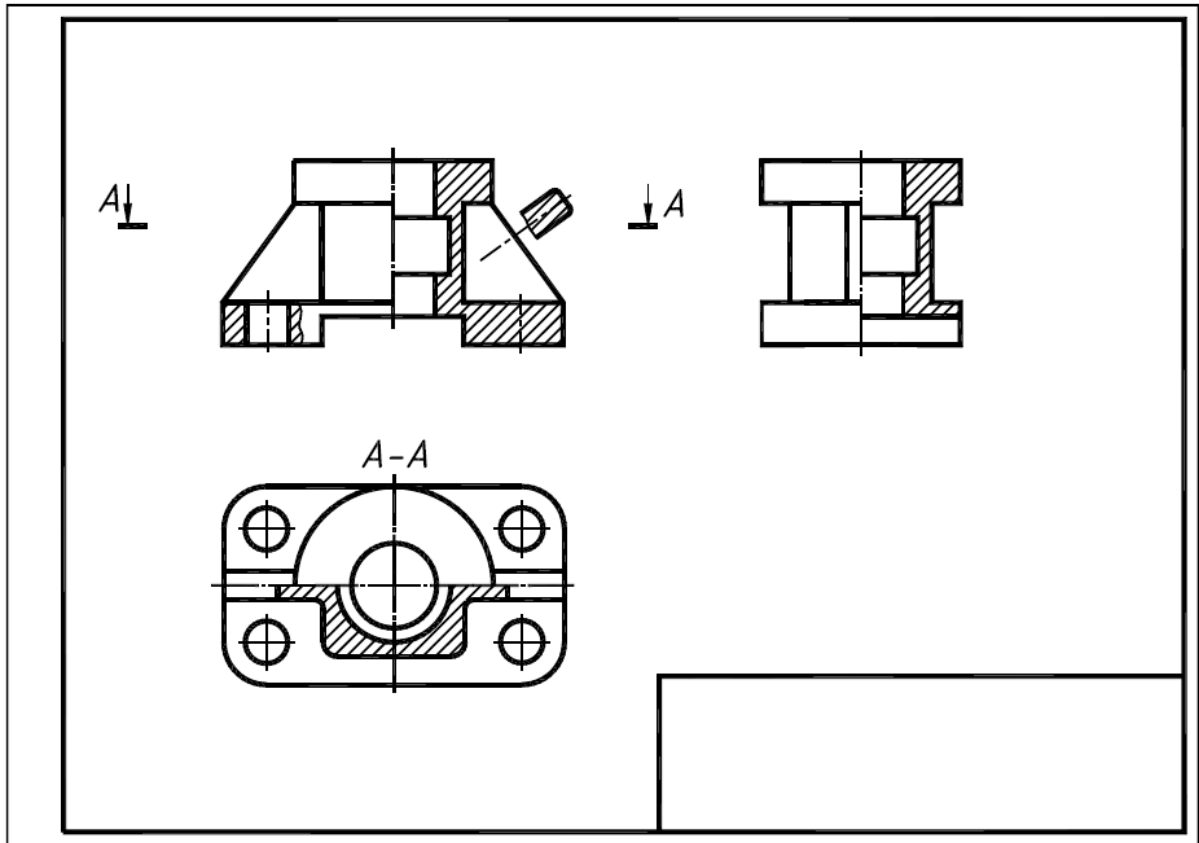


Рисунок 4.9

Перерізи, що входять у розріз, заштриховують тонкими суцільними лініями під кутом  $45^\circ$  до рамки креслення. Відстань між лініями штрихування має бути однаковою і знаходиться в межах від 1 до 10 мм залежно від площі штрихування (у наведеному прикладі ця відстань дорівнює 3 мм).

Місцевий розріз на виді спереду обмежують тонкою суцільною хвилястою лінією. Ця лінія не повинна співпадати з іншими лініями зображення і виступати за межі елемента або елементів деталі, до яких належить цей розріз. Місцевий розріз і його січну площину не позначають.

### ***Простановка розмірів***

Нанесення розмірів – найвідповідальніший етап роботи. Перед цим етапом необхідно уважно ознайомитися з **ГОСТ 2.307-68** про правила нанесення розмірів на кресленнях.

На ескізі наносять розміри, зняті безпосередньо з моделі. Оскільки робота навчальна, необхідно застосовувати цілочисельні розміри, округлюючи виміряні числа до

найближчого цілого числа. Після округлення розмірні числа потрібно погоджувати з **ГОСТ 6636-69** (нормальні лінійні розміри, нормальні діаметри загального призначення).

Для розмірних чисел рекомендується застосовувати номер шрифту **3,5** або **5**. Кожен **розмір** на ескізі **вказується тільки один раз**. На практиці нанесення розмірів на ескізі має бути погоджене з технологією виготовлення деталі, послідовністю складання, положенням деталі в складальному вузлі тощо.

У навчальному процесі варто керуватися геометричним принципом простановки розмірів. У цьому випадку модель розглядається як сукупність простих геометричних тіл: призм, циліндрів тощо (рис. 4.10). Для задання циліндра потрібно два розміри: діаметр і висота, для призми – три розміри: довжина, ширина, висота. Циліндричні отвори подаються як циліндри, призматичні пази, отвори – як призми.

Усі розміри можна умовно розбити на три групи: **габаритні**, **координатні** й **геометричні** (розміри форми). До габаритних розмірів зараховують довжину, ширину й висоту усієї моделі. Координатні – розміри, які фіксують розташування елементів (окремих простих тіл моделі, до яких належать отвори, пази тощо) відносно осей симетрії або базових поверхонь. Геометричні – розміри окремих елементів, що становлять модель.

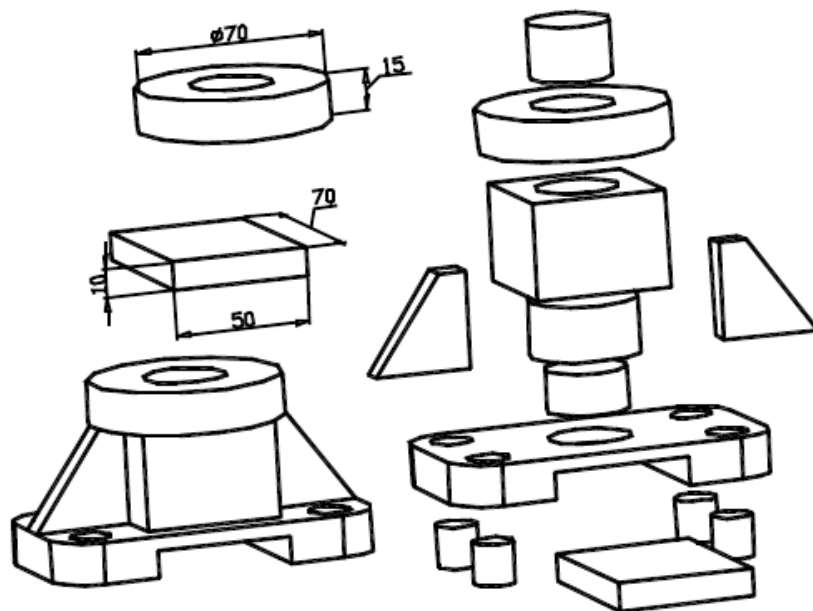


Рисунок 4.10

Спочатку проводяться тільки виносні й розмірні лінії. Обміряти модель і нанести розмірні числа після перевірки необхідності намічених розмірів і достатності їхньої кількості.

Розглянемо нанесення розмірів на прикладі певної моделі (рис. 4.11). Рекомендується такий порядок нанесення розмірів на ескізі.

1. Нанести габаритні розміри. Габаритні розміри необхідно розташовувати якомога далі від проекції, враховуючи, що інші розміри, паралельні габаритним, будуть наноситись у проміжку між ними і контуром проекції моделі.



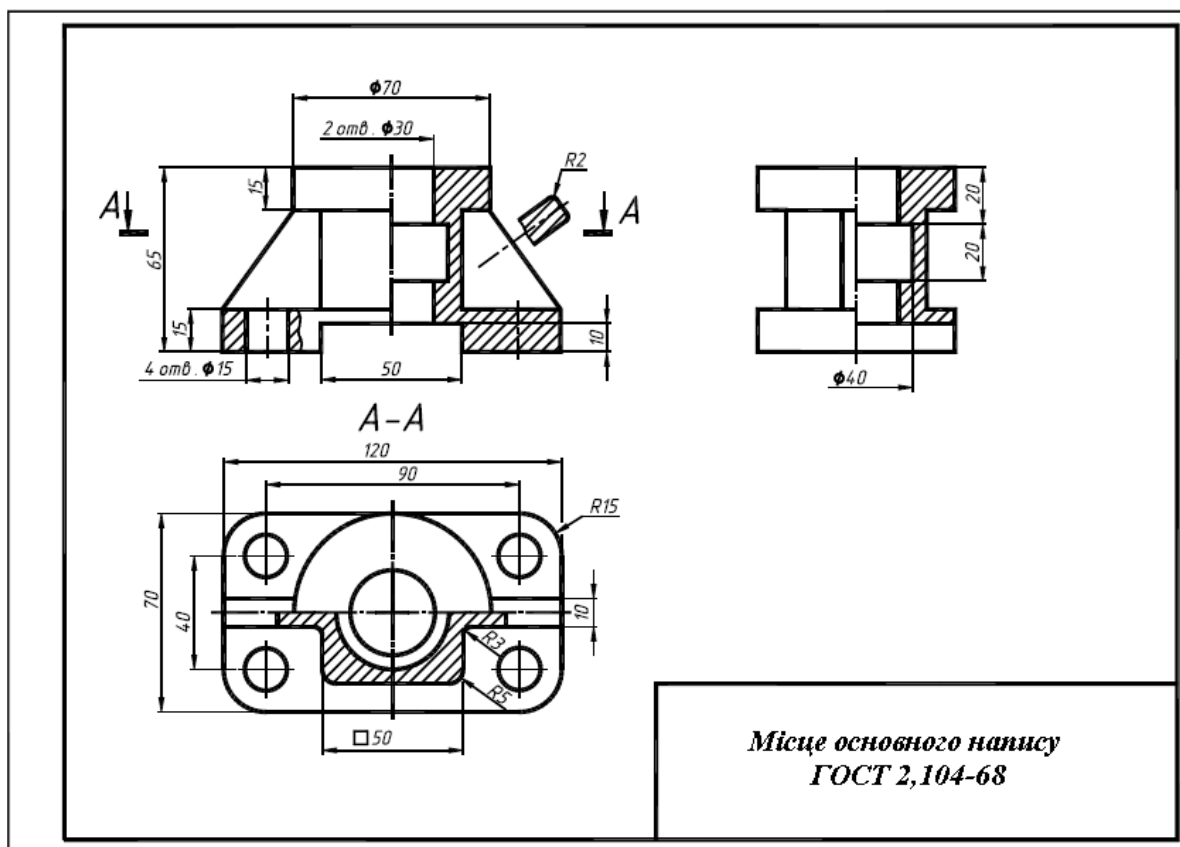


Рисунок 4.11

2. Указати розміри діаметрів отворів. Для однакових отворів розмір ставиться на одному з них і пишеться кількість отворів за типом «**4 отв. Ø15**». Допускається кількість отворів вказувати під розмірною лінією. Розміри діаметрів поверхонь обертання рекомендується наносити на тому зображенні, де площини кругових перерізів є проектувальними. Розміри радіусів, навпаки, проставляються на тому зображенні, де проекція дуги – крива лінія.

3. Проставити розміри інших елементів моделі. Розміри, що належать до одного елемента, рекомендується наносити на одному зображенні, на тому виді, де цей елемент краще всього представлений. Наприклад, розміри поперечного паза (рис. 4.11), краще всього проставити на головному виді, оскільки тут повністю подана його форма. Розміри, що належать до внутрішніх елементів моделі, проставляються з боку розрізу, що розкриває їх. Наприклад, центральний отвір діаметром **40 мм** – на профільному розрізі. Варто враховувати також спотворення контурів елементів моделі на деяких видах. Так, наприклад, радіус округлення кромки ребра жорсткості **R2** можна вказати тільки на винесеному перерізі.

4. Нанести розміри, що координують окремі елементи моделі між собою і від базових поверхонь. У елементів циліндричної форми завжди координується вісь, а не бічна поверхня. Обов'язково вказуються відстані між центрами отворів. Варто уникати перетину розмірних і виносних ліній. За наявності декількох паралельних розмірних ліній розмірні числа варто проставляти в шаховому порядку і тому подібне.

### *Завершення роботи над ескізом*

Заповнення основного напису.

Для ескізів застосовується форма 1 основного напису згідно з ГОСТ 2.104-2006, розміри цього напису і приклад заповнення її подано на рисунку 4.12.

У графі 2, основному напису виробничих креслень, повинне міститися позначення документу згідно з ГОСТ 2.201-80. У навчальних кресленнях у цій графі записується: НУМГ – скорочена назва університету, ІГ – назва дисципліни (інженерна графіка), 02 – номер завдання, 05 – варіант, 05 – номер аркушу в альбомі виконаних завдань. Цей запис повинен робитися шрифтом номер 10 прямий (рис. 4.13).

У графі 1 записується найменування виробу – **Модель**, шрифт номер 7 (рис. 4.14).

У графі 9 основного напису проставляється назва установи, що випустила креслення – **НІІТ 2016-1** (рис. 4.15).

У графі «Лист» – порядковий номер листа, якщо лист один, то графу не заповнюють.

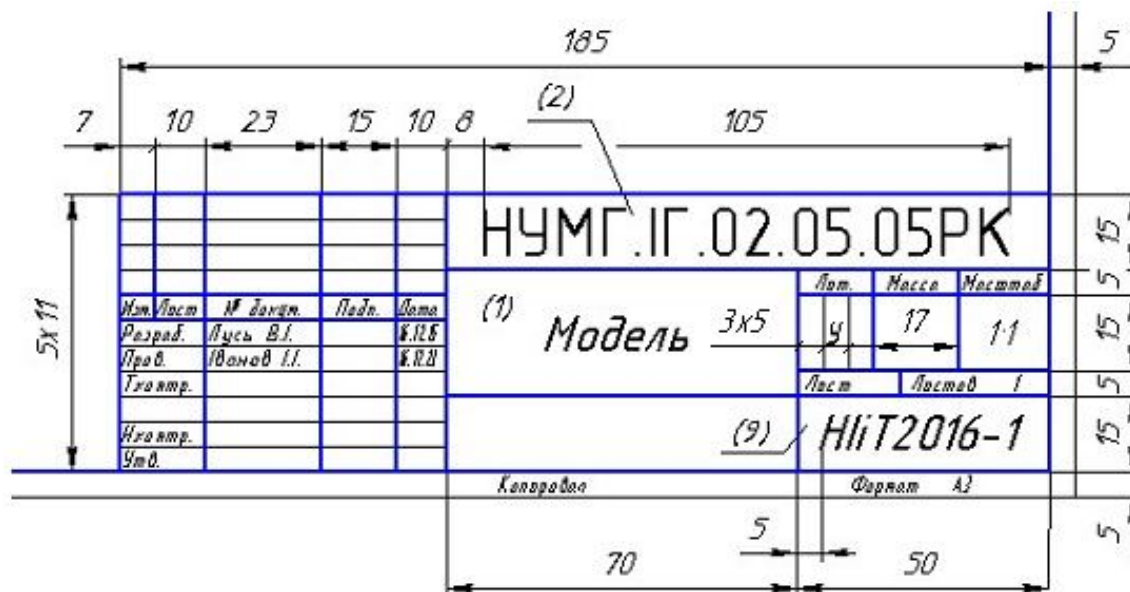


Рисунок 4.12

У графі «Листів» – загальна кількість аркушів документу. Графа заповнюється тільки на першому листі. У графі «Масштаб» – масштаб зображення (наприклад, 1:1). На ескізах масштаб не вказують. У графі «Розроб» – прізвище студента. У графі «Перев» – прізвище викладача що прийняв креслення. Графи «Лист» «Перев» заповнюються шрифтом 3,5.

НУМГ.ІГ.02.05.05РК

Рисунок 4.13



Рисунок 4.14

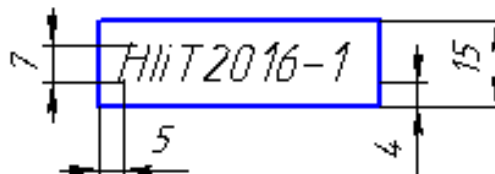


Рисунок 4.15

### Обводка ескізу

Останній етап роботи над ескізом – обведення видимих контурів моделі, відновлення стертих осьових ліній, видалення виступаючих більше норми виносних, розмірних, осьових ліній. Рекомендується виступ виносних ліній за розмірні і осей за контури зображення витримувати в межах **2,5... 3 мм**. Необхідно стежити за тим, щоб у місці перетину осьових ліній були штрихи, а не пунктир, щоб розмірні числа не перетиналися, не розділялися будь-яким лініями тощо.

Лінії контуру і штрихи розімкнутої потрібно обводити м'яким олівцем, решту – гостро заточеним твердо-м'яким олівцем.

Рекомендується товщину ліній контуру дотримуватися в межах **0,7 ... 1 мм**, розімкнутої лінії – **1 ... 1,3 мм**, товщина інших ліній – **0,3 ... 0,5 мм**.

Типи ліній, які використовуються під час виконання завдань, зображують на ескізі першої моделі (рис. 4.16).



Рисунок 4.16

Приклад готового ескізу першої моделі подано на рисунку 4.17.



**Задача 2.** Виконати ескіз моделі. Ескіз повинен містити:

- мінімальну, але достатню кількість зображень, що складаються з основних видів, розрізів;
- при необхідності місцеві види, розрізи;
- прямокутну ізометрію з вирізом по осях **XOZ**, **YOZ**.

### Етапи виконання ескізу

**1 Вибір положення моделі відносно площин проекцій, кількості і типу зображень.**

Ця модель, також як і перша, має дві площини симетрії. Необхідно розташувати модель так, щоб подовжня площина симетрії була паралельна фронтальній площині проекцій (рис. 4.18).

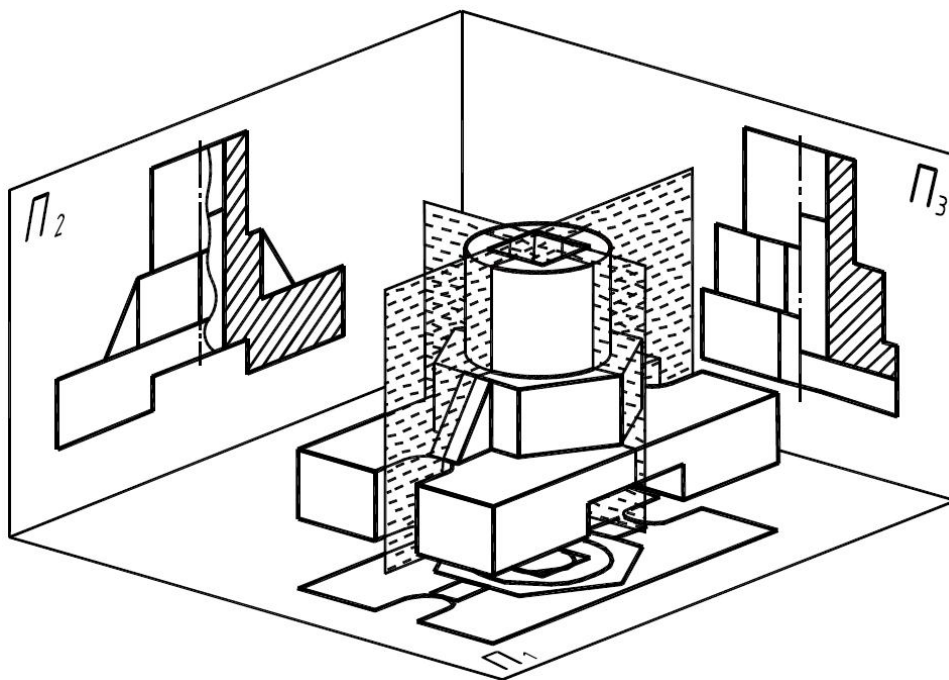


Рисунок 4.18

На місцях головного виду і виду ліворуч доцільно виконати половини відповідно виду спереду і фронтального розрізу, профільного розрізу і виду ліворуч, використовуючи як січні площини симетрії. Вид зверху залишити без розрізу.

### **2 Розмітка формату паперу і побудова зображень**

Розмітку формату слід розпочинати з викреслювання тонкими лініями в ізометричній проекції габаритного паралелограма з вирізом, розташовуючи його над основним написом.

Для цього необхідно заздалегідь заміряти довжину, ширину і висоту моделі. Потім намічають габаритні прямокутники видів так, щоб зображення були рівномірно розподілені на ескізі і, у той же час, залишилося місце для нанесення розмірів. На рисунку 4.19 показана розмітка формату для моделі, узятій як приклад.

Порядок побудови зображень детально описаний вище. Готовий ескіз моделі подано на рисунку 4.21.

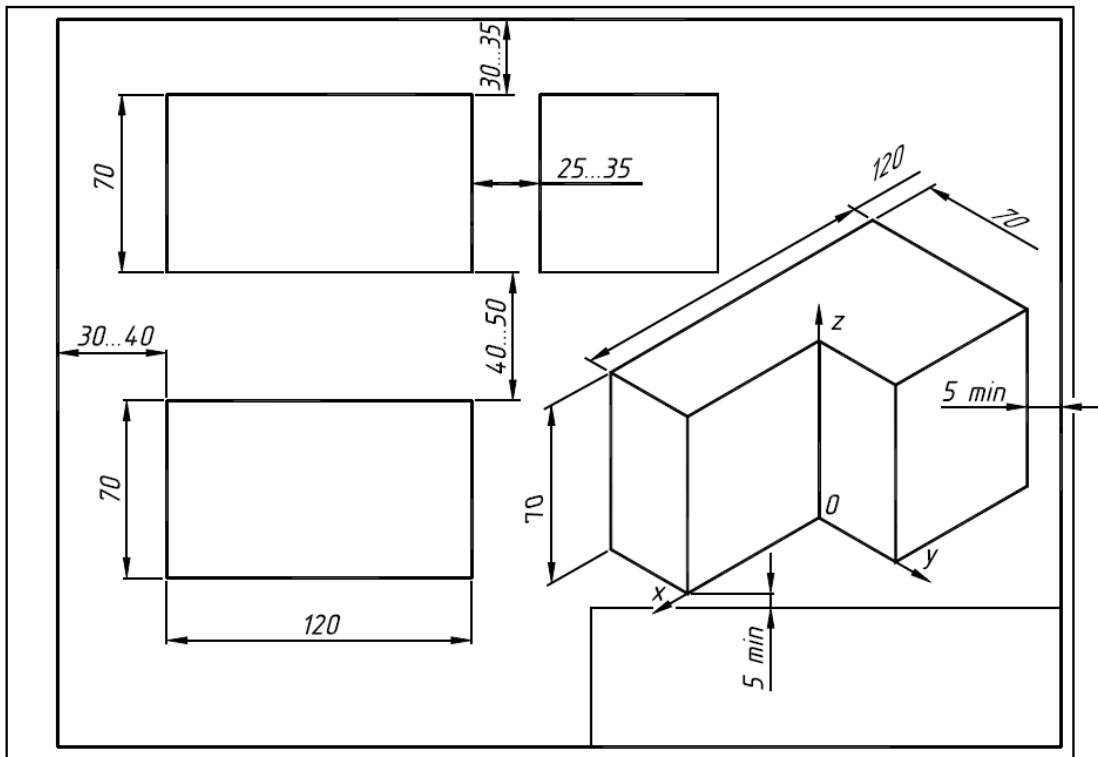


Рисунок 4.19

### 3 Побудова ізометричної проекції

Після нанесення розмірів на ескізі, можна розпочинати побудову ізометричної проекції моделі, зберігаючи те ж її положення, що і при ортогональному проектуванні.

Модель подумки розбивають на окремі елементи і аналізують плоскі контури елементів, паралельних горизонтальній площині проєкцій (рис. 4.20, а). Потім розпочинають побудову ізометричних проєкцій цих контурів, (рис. 4.20, б). Наприклад, викреслюють плоский нижній контур основи моделі, потім по осі  $z'$  відкладають висоту основи і будують верхній контур. У цьому ж контурі знаходиться шестикутник – основа шестикутної призми і основа ребра жорсткості.

Розміри елементів геометричних фігур переносять циркулем із комплексного креслення на аксонометричну проєкцію (застосовують приведені коефіцієнти спотворення).

Для побудови проєкції циліндричного отвору достатньо викреслити два овали – нижню і верхню основи циліндра, відмірявши по осі  $z'$  їх відстані від нижньої площини основи.

Далі будують перерізи площинами  $x'o'z'$  і  $y'o'z'$  (рис. 4.20, в), стирають усі лінії перед цими площинами і в самих перерізах, проводять видимі нариси циліндричних і призматичних поверхонь.

Останній етап – остаточне видалення невидимих ліній, штрихування перерізів і обведення контурів проєкції основною лінією (рис. 4.20, г).

### 4 Побудова третього виду предмета по двох заданих

Побудова третього виду предмета (зазвичай виду ліворуч) по двох заданих виконується у такому порядку.

**І етап – підготовчий.**

1. Прочитати креслення, тобто подумки розділити предмет на окремі утворюючі його прості геометричні фігури і поверхні.

2. Подумки уявити, як зображуються на третьому виді геометричні фігури, що становлять предмет, а потім увесь предмет повністю.

3. Визначити, які поверхні, що обмежують предмет, перетинаються між собою, які лінії виходять у їх перетині і як вони будуть зображуватись на третьому виді.

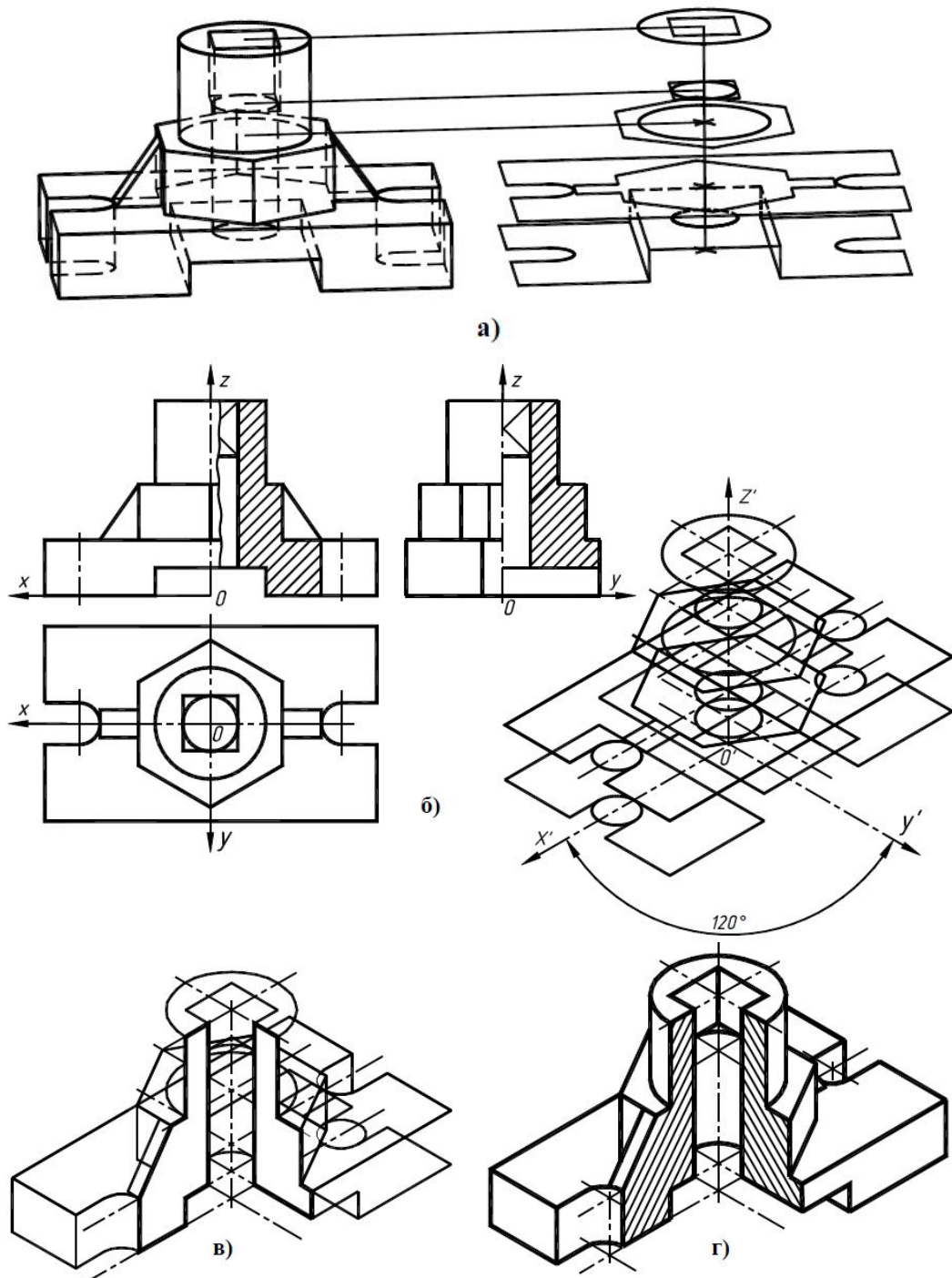


Рисунок 4.20



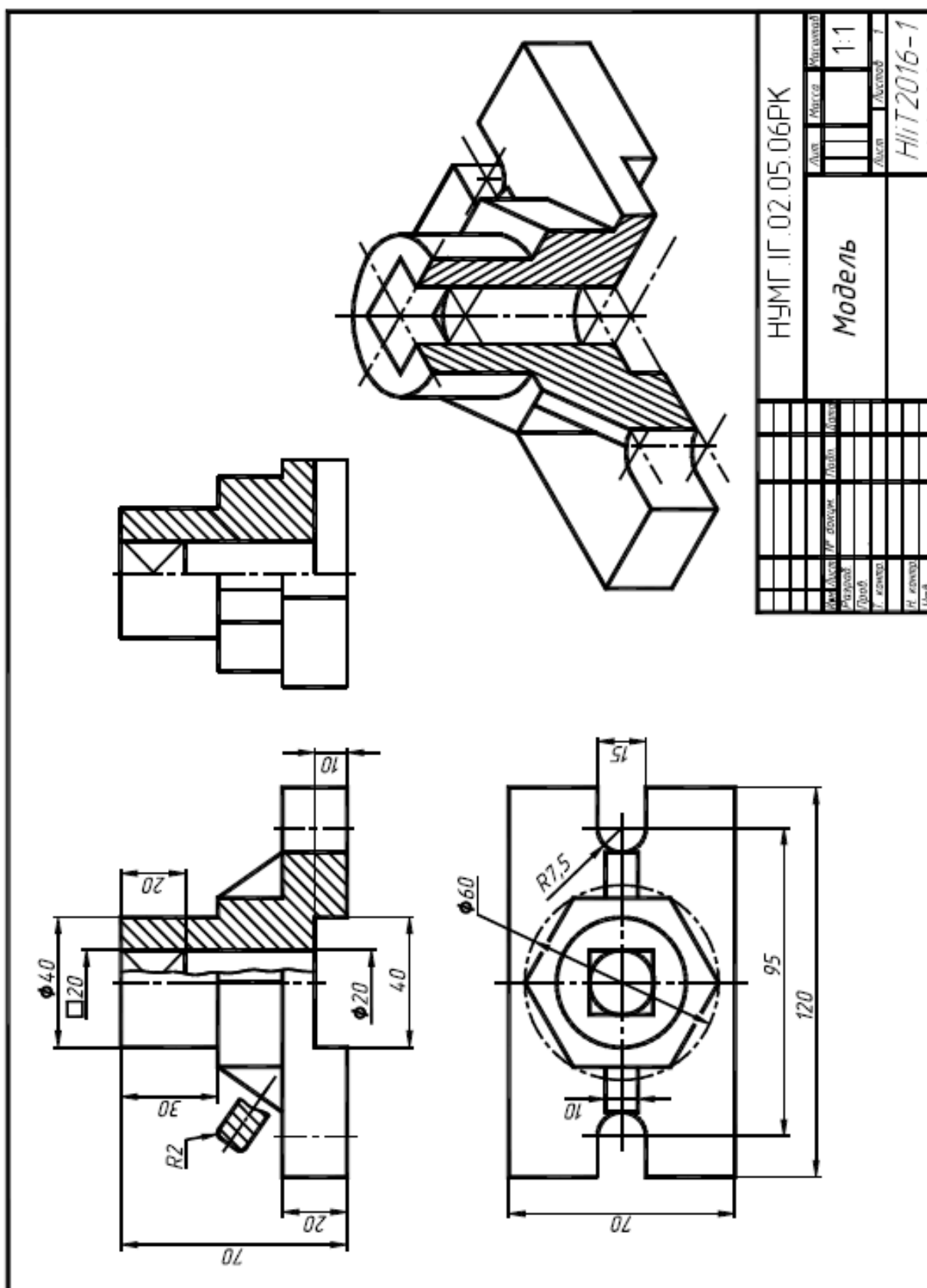


Рисунок 4.21

4. Визначити, які розрізи і перерізи необхідно виконати для вияву внутрішніх форм предмета (зазвичай в завданні на побудову третього виду по двох заданих включається побудова розрізів і перерізу).

5. Визначити, які лінії і поверхні доцільно прийняти за базові для проставлення розмірів під час побудови зображень. Здебільшого це осьові, центрові лінії і площини основ.

### **II етап – графічний**

1. На полі формату аркуша виділити (намітити у виді прямокутників) місця для кожного з трьох зображень, враховуючи їх проекційний зв'язок; заповнення поля креслення має бути рівномірним. Провести базові й осьові лінії кожного зображення.

2. Побудувати задані два види (тонкими лініями).

3. Поступово викреслити тонкими лініями третій вид: для цього необхідно знайти проекції простих геометричних фігур, що утворюють предмет і їх елементів (граней, ребер, вершин і т. п.) на заданих проекціях, а потім розпочати побудову їх профільних проекцій, зберігаючи проекційний зв'язок і переходячи поетапно від одного елементу до іншого.

4. Виконати необхідні розрізи на усіх зображеннях.

5. Нанести штрихування розрізів і перерізів.

6. Позначити розрізи, якщо це необхідно, відповідно до **ГОСТ 2.305-68**.

7. Перевірити правильність виконаних зображень, прибрати зайві лінії.

8. Обвести креслення лініями необхідної товщини згідно з **ГОСТ 2.303-68**.

9. Повторно перевірити правильність креслення.

**Задача 1.** Побудувати вид ліворуч предмета, заданого на рисунку 4.22, а і виконати необхідні розрізи.

**I етап** (рис. 4.22, а, б).

1. Заданий предмет складається з циліндра **I** і чотирикутної призми **III**. Усередині предмета є вертикальний призматичний отвір **V** і циліндричний отвір **IV**. У верхній частині предмета є наскрізний горизонтальний циліндричний отвір **II**.

2. Кожна з цих геометричних фігур на виді ліворуч буде зображуватись відповідним чотирикутником.

3. Горизонтальний циліндричний отвір **II** перетинатиметься з зовнішньою поверхнею циліндра **I** по кривій лінії **m**, із внутрішнім циліндричним отвором – по кривих **n**.

4. Для виявлення внутрішніх форм предмета достатньо виконати два простих розрізи: фронтальною і профільною площинами, співпадаючими з площинами симетрії предмета. На головному зображенні та на виді ліворуч необхідно викреслити з'єднання частини виду (менше половини) з частиною відповідного розрізу (більше половини), оскільки з осьовими лініями зображень співпадають проекції ребер внутрішнього призматичного отвору **V**.

5. За базові лінії відліку розмірів доцільно прийняти площини основ предмета і вертикальну осьову лінію.

**II етап** (рис. 4.22, в).

1. На полі формату аркуша позначаємо місця (прямокутники) для кожного з трьох зображень (на рис. 4.22, в, вони не показані). Проводимо осьові лінії кожного зображення.

2. Креслимо задані види: вид спереду і згори (тонкими лініями).

3. Послідовно будуємо вид ліворуч: спочатку зображення циліндра **I**, потім призми **III** і горизонтального циліндричного отвору **II**, після цього – призматичного отвору **V** і циліндричного отвору **IV**. Лінію перетину **m** горизонтального циліндричного отвору **II** із зовнішньою поверхнею циліндра **I** будуємо, використовуючи точки **1, 2, 3**.

4. У правій частині головного зображення виконуємо розріз фронтальною площиною, співпадаючою з площиною симетрії предмета. У правій частині виду ліворуч – розріз профільною площиною, співпадаючою з площиною симетрії предмета. Будуємо проекції ліній перетину горизонтального отвору **II** з вертикальним циліндричним отвором **IV** – лінія **n**. Межею між розрізом і видом на головному зображенні і ліворуч являється тонка хвиляста лінія, оскільки з осьовими лініями співпадає зображення ребер призматичного отвору **V**.

5. Виконуємо штрихування розрізів.

6. Видаляємо зайві лінії зображень і обводимо креслення лініями необхідної товщини.

7. Перевіряємо правильність виконаного креслення.

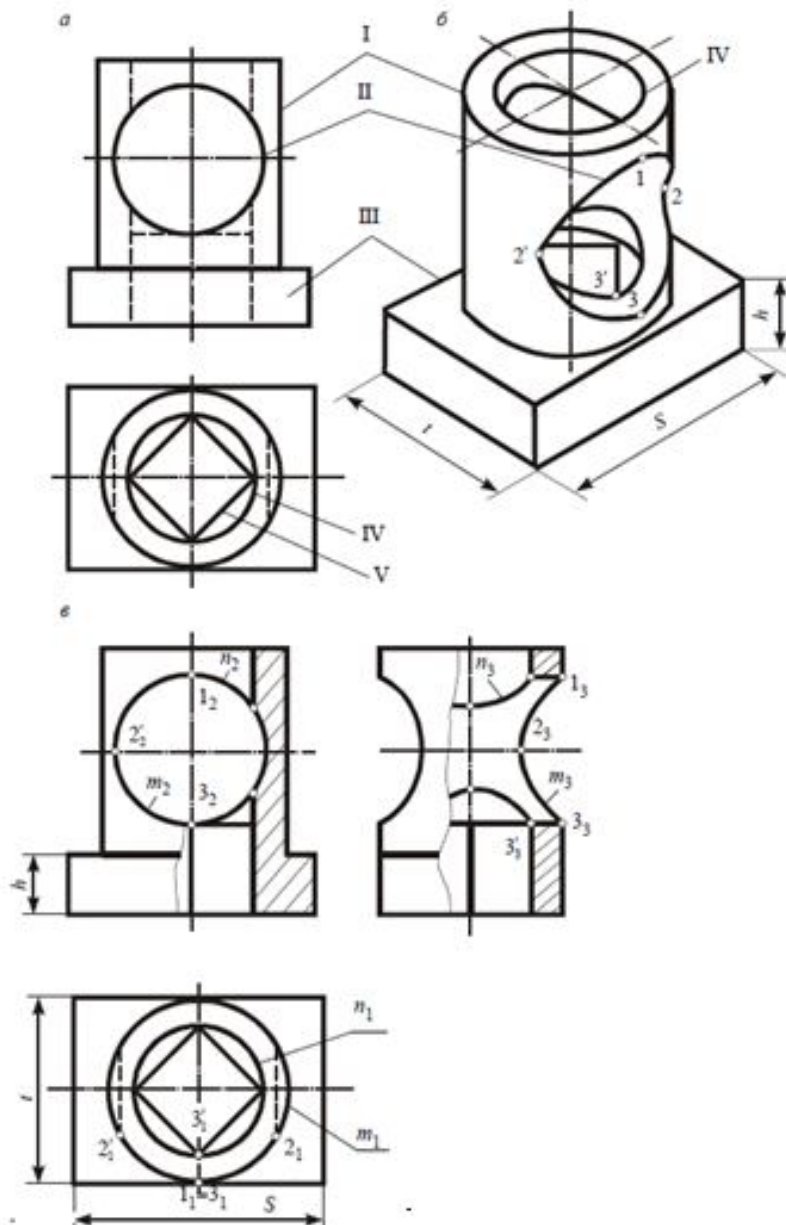


Рисунок 4.22

### 4.3 Побудова дійсного виду похилого перерізу предмета способом заміни площин проекцій

Похилий переріз виходить у результаті перетину предмета площиною, що становить з основними площинами проекцій кут, відмінний від прямого. Істинний вид похилого перерізу визначають способом заміни площин проекцій, який полягає в тому, що геометричну фігуру, не змінюючи її положення в просторі, проєктують на нову площину, що заміняє одну з основних. Положення додаткової площини проекцій вибирають залежно від визначеного завдання (паралельно геометричній фігурі). Додаткова площина обов'язково має бути перпендикулярною до іншої, не замінюваної, площини проекцій.

Сутність способу заміни площин проекцій розглянемо на прикладі визначення довжини відрізка  $[AB]$  прямої загального положення (рис. 4.23).

Відомо, що відрізок прямої проєктується на площину проєкцій в рівний йому відрізок, якщо він їй паралельний. Отже для визначення довжини відрізка необхідно додаткову площину розташувати паралельно відрітку  $[AB]$ . Замінімо площину  $\Pi_2$  площиною  $\Pi_4$ , перпендикулярною до площини  $\Pi_1$  і паралельною відрітку  $[AB]$ . Відстань від площини  $\Pi_4$  до відрітку  $[AB]$  довільна (рис. 4.23, а). Площини проекцій  $\Pi_1$  і  $\Pi_4$  утворюють нову систему площин проекцій і перетинаються по прямій  $x_{14}$  – новій осі проєкцій, яка в цьому випадку паралельна горизонтальній проєкції відрітку, тобто  $x_{14} \parallel [A_1B_1]$ . Водночас  $|A_{12}A_2| = |A_{14}A_4|$  і  $|B_{12}B_2| = |B_{14}B_4|$ ,  $A_4B_4$  – ортогональна проєкція відрітку  $[AB]$  на площині  $\Pi_4$ ,  $[AB] \parallel \Pi_4 \Rightarrow A_4B_4 = AB$ .

Для того щоб побудувати проєкцію  $A_4B_4$  відрітку  $[AB]$  на кресленні, виконують такі дії. Проводять нову вісь  $x_{14}$  паралельно горизонтальній проєкції відрітку  $[A_1B_1]$  на довільній відстані від неї. Через горизонтальні проєкції кінців відрітку (точка  $A_1$  і  $B_1$ ) проводять лінії проєкційного зв'язку, перпендикулярно до осі  $x_{14}$ . На цих лініях зв'язку від осі  $x_{14}$  відкладають відрізки  $|A_{14}A_4| = |A_{12}A_2|$  і  $|B_{14}B_4| = |B_{12}B_2|$ . З'єднавши прямою точки  $A_4$  і  $B_4$ , отримують проєкцію  $A_4B_4$  відрітку  $[AB]$  на площину  $\Pi_4$  (рис. 4.23, б).

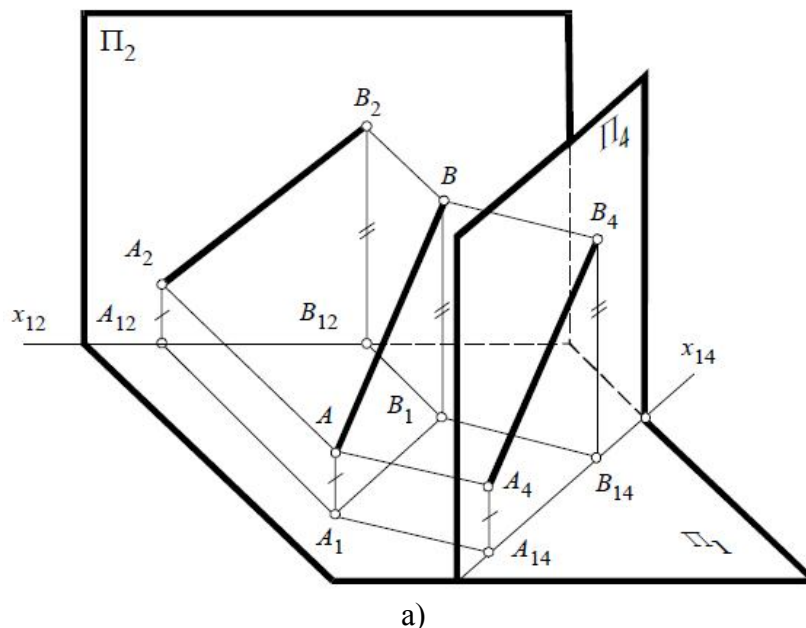
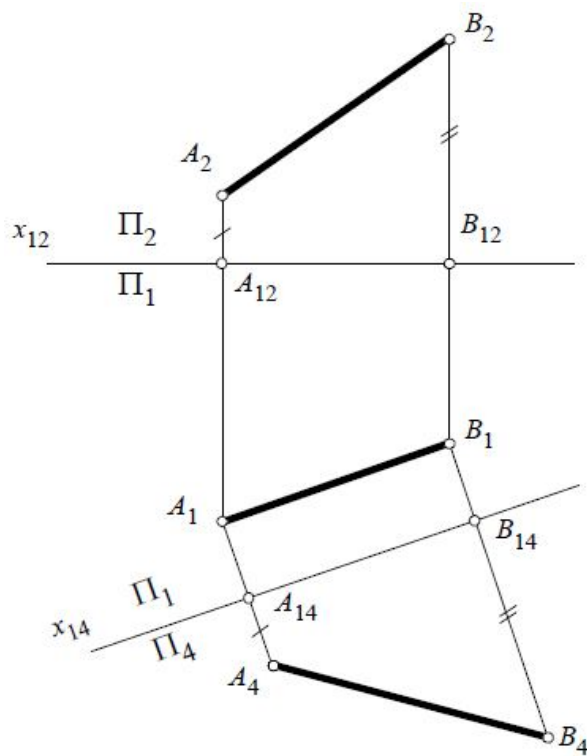


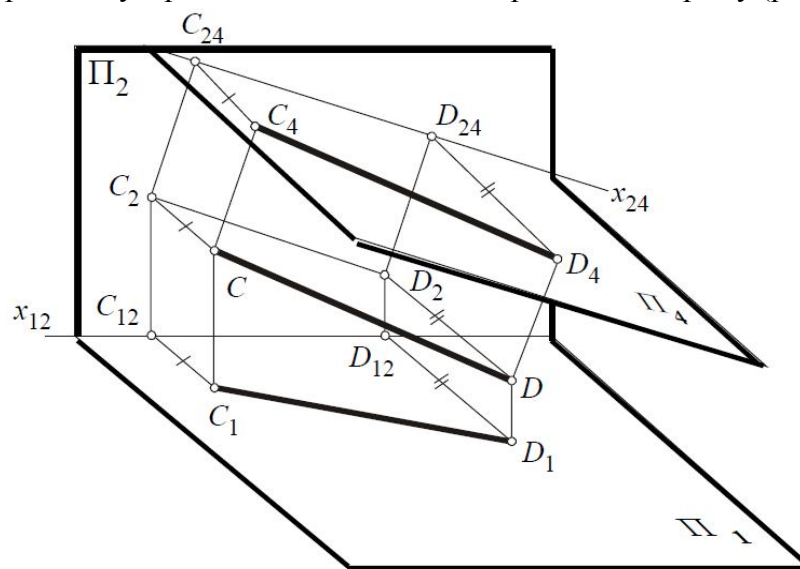
Рисунок 4.23

Продовження рисунку 4.23



б)

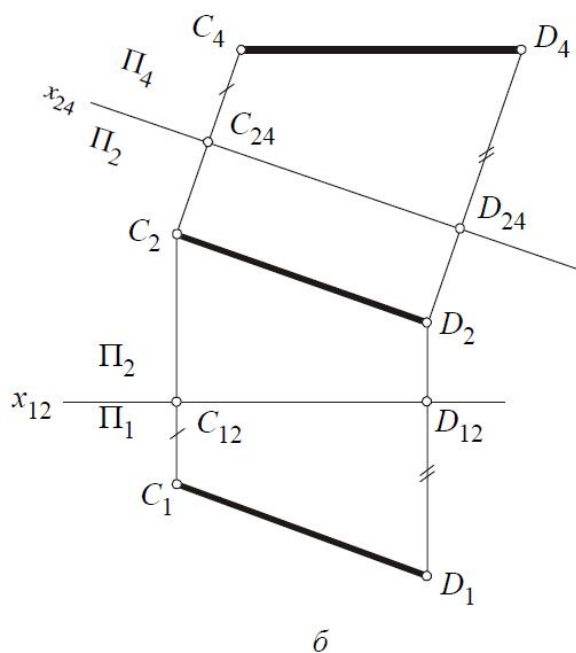
Задача на визначення дійсної довжини відрізка прямої загального положення може бути розв'язана також за допомогою додаткової площини проєкцій узятою замість площини  $\Pi_1$ , перпендикулярною до площини  $\Pi_2$  і паралельно відрізку (рис. 4.24).



а

Рисунок 4.24

Продовження рисунку 4.24



Плоска геометрична фігура проектується на площину проєкцій у конгруентну їй фігуру, якщо вона розташована паралельно до цієї площини. Отже, для визначення дійсної величини плоскої геометричної фігури потрібно нову додаткову площину розташувати паралельно фігурі.

**Задача.** Визначити істинну величину трикутника  $ABC \perp П_2$  (рис. 4.25).

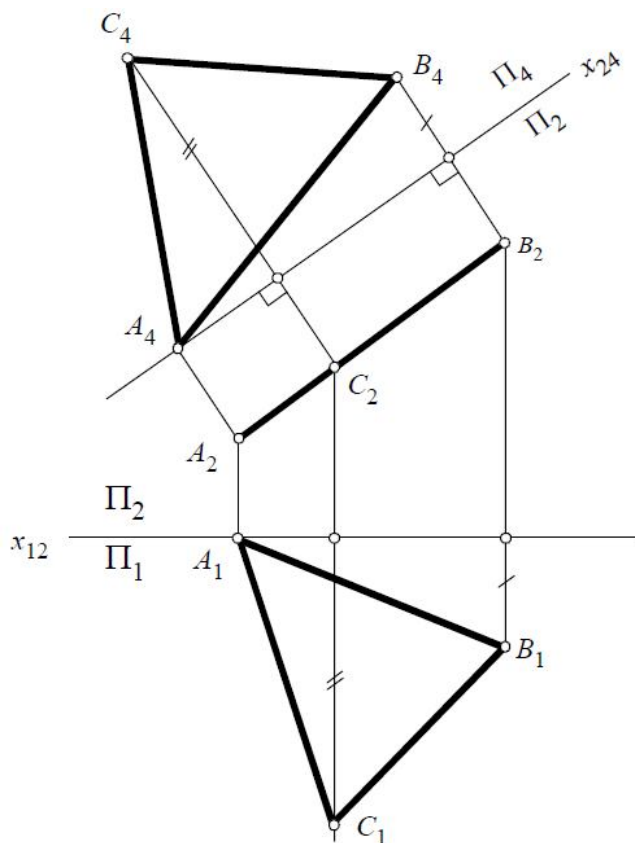


Рисунок 4.25

Скористаємося додатковою площиною  $\Pi_4$ , яку розташуємо паралельно площині трикутника і перпендикулярно до площини  $\Pi_2$ .

Нову вісь проекцій  $x_{24}$  проведемо паралельно фронтальній проекції трикутника  $ABC$ . Нові проекції  $A_4$ ,  $B_4$  і  $C_4$  вершин  $A$ ,  $B$  і  $C$  отримаємо, відкладаючи на лініях проекційного зв'язку від осі  $x_{24}$  відрізки, рівні відстані від точок  $A_1$ ,  $B_1$  і  $C_1$  до осі  $x_{12}$ .

Отримана нова проекція  $A_4B_4C_4$  є дійсною величиною трикутника  $ABC$ .

**Задача.** Побудувати дійсний вид перерізу комбінованої геометричної фігури фронтально–проектувальною площиною  $A-A$  (рис. 4.26).

Подумки розчленовуємо предмет на окремі його складові найпростіші геометричні фігури: зрізаний конус, частина кулі і дві призми. Всередині наскрізний циліндричний отвір. Соосні конічна і сферична поверхні перетинаються по колу. Лінії перетину призматичних поверхонь з сферою – сукупність частин кіл.

Фронтально–проектувальна площина  $A-A$  перетинає зрізаний конус по частинах еліпса, сферу – по двох дугах кола, а призму – по ламаній. Внутрішній циліндричний отвір перетинається площиною по еліпсу. Усі ці лінії в сукупності обмежують фігуру перерізу  $A-A$  дійсний вид якої можна отримати, замінивши горизонтальну площину проекцій  $\Pi_1$  на додаткову  $\Pi_4$ , розташовану паралельно до січної площини.

Виконуємо побудови на кресленні (рис. 4.26, а).

1. На фронтальній площині проекцій позначаємо проекції опорних точок ліній перетину – точок, у яких лінія перерізу  $A-A$  перетинає нариси проекцій зовнішніх і внутрішніх поверхонь предмета (точки  $1_2$ ,  $2_2$ ,  $4_2$ ,  $5_2$ ,  $7_2$ ), а також осьову лінію зображення (точки  $3_2 = 3_2' = 3_2'' = 3_2'''$ ).

У точках  $4_2$  і  $6_2$ , відмічених на проекціях ліній перетину поверхонь, що утворюють предмет, змінюється характер лінії, обмежуючої фігуру перерізу. Відмічаємо проекцію  $O_2$  центру  $O$  кола перетину сфери із заданою площиною  $A-A$ . Радіус  $R$  цього кола визначається побудовою, якщо провести лінію нарису фронтальної проекції сфери до перетину з лінією  $A-A$ .

2. Горизонтальні проекції позначених опорних точок будуємо за їхньою приналежністю відповідним поверхням.

3. Проводимо вісь проекцій  $x_{12}$  через вісь симетрії фігури (для зручності побудов).

4. На вільному місці поля креслення проводимо нову вісь проекцій  $x_{24}$  паралельно лінії  $A-A$ .

5. Нові лінії проекційного зв'язку в системі площин  $\frac{\Pi_2}{\Pi_1}$  проводимо перпендикулярно осі  $x_{24}$ .

6. На побудованих лініях зв'язку знаходимо положення кожної відміченої точки лінії перерізу (зовнішнього і внутрішнього контуру), відкладаючи по обидва боки від осі симетрії перерізу відрізки, узяті з горизонтальної проекції.

Наприклад,  $|2_1'2_1| = |2_4'2_4|$  і  $|2_1'2_1''| = |2_4'2_4''|$ .



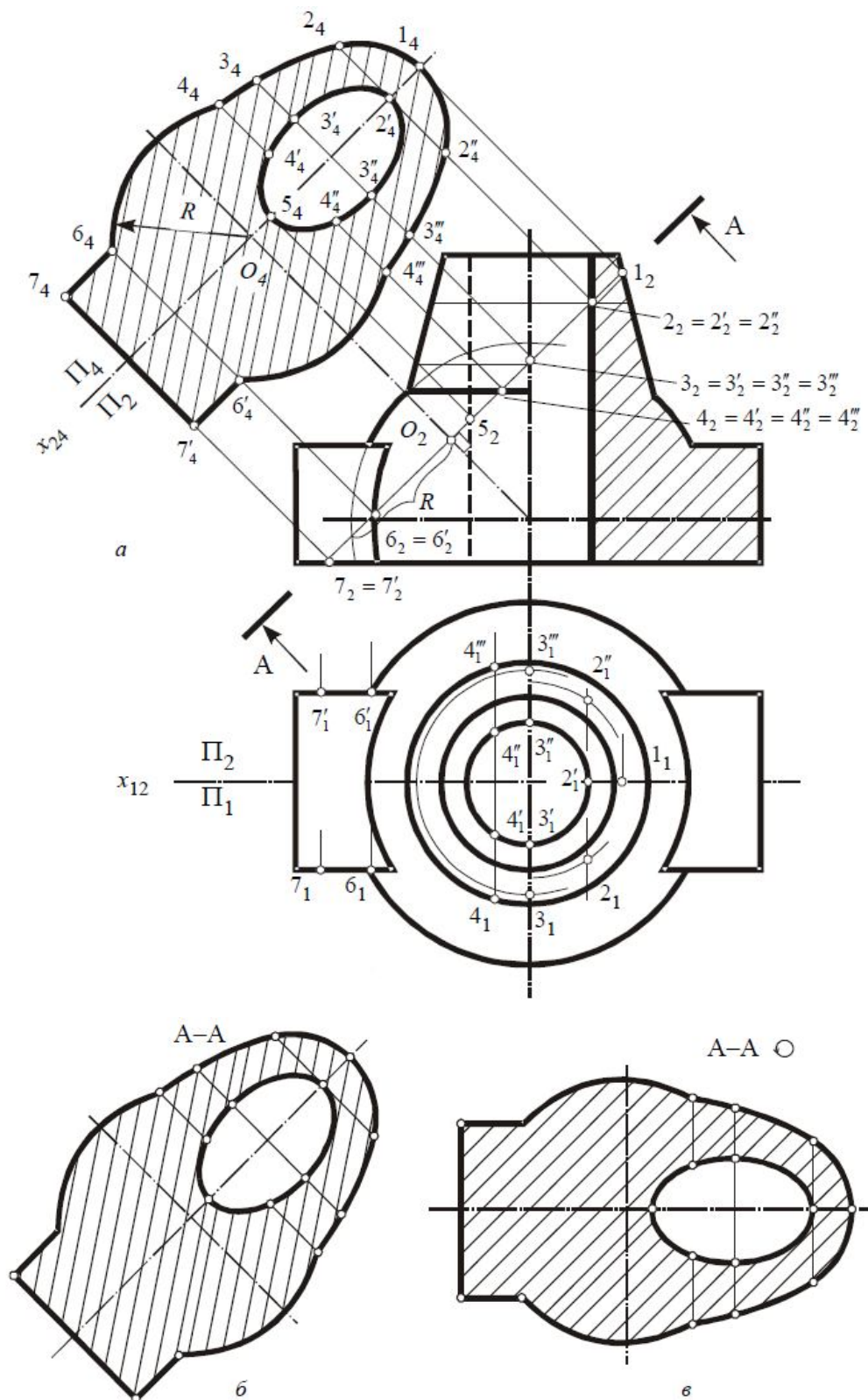



Рисунок 4.26

7. Сполучаємо побудовані точки, що належать як внутрішньому, так і зовнішньому контурам лінії перерізу, з урахуванням форми цієї лінії.
8. Виконуємо штрихування перерізу за правилами, викладеними в **ГОСТ 2.306-68**.
9. Обводимо переріз лініями потрібної згідно з **ГОСТ 2.303-68** товщини.

На машинобудівних кресленнях, що містять перерізи предмета похилою площиною, осі проєкцій і лінії проєкційного зв'язку не проводять, проєкції точок ліній перерізу не позначають, а фігуру перерізу відповідно до **ГОСТ 2.305-68** можна розташувати на будь-якому місці поля креслення. Вісь перерізу проводиться паралельно лінії перерізу, а відстані між точками **1–7** і їх взаємне положення залишаються незмінними. Переріз позначається **A–A** (рис. 4.26, б). Допускається розташовувати переріз з поворотом. У цьому випадку до напису додають знак «», (рис. 4.26, в).

## 5 ЗОБРАЖЕННЯ ПРЕДМЕТА В АКСОНОМЕТРИЧНИХ ПРОЕКЦІЯХ

### 5.1 Основні поняття і визначення

АксонOMETрична проекція – це зображення геометричної фігури, яке виходить шляхом паралельного проектування її на деяку площину  $\Pi'$  разом із декартовою системою прямокутних координат  $OXYZ$ , до якої вона віднесена в просторі.

Оборотність аксонометричного зображення обумовлена тим, що на аксонометричну площину проекцій проектується не лише геометрична фігура разом із декартовою системою прямокутних координат, але і одна з її ортогональних проекцій на координатні площини.

На рисунку 5.1 подано приклад побудови аксонометрії точки  $A$ , зарахованої до декартової системи координат  $OXYZ$ . Напрямок проектування  $S$  вибирається так, щоб він не був паралельним жодній із координатних осей. Довільна площина  $\Pi'$ , на яку робиться проектування, називається площиною аксонометричних проекцій. Осі  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  – проекції координатних осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – називаються аксонометричними осями. Точка  $A_1'$  – аксонометрична проекція точки  $A$ , а точка  $A'$  – її вторинна проекція. Проекції  $A'$  і  $A_1'$  забезпечують зворотність аксонометричного креслення.

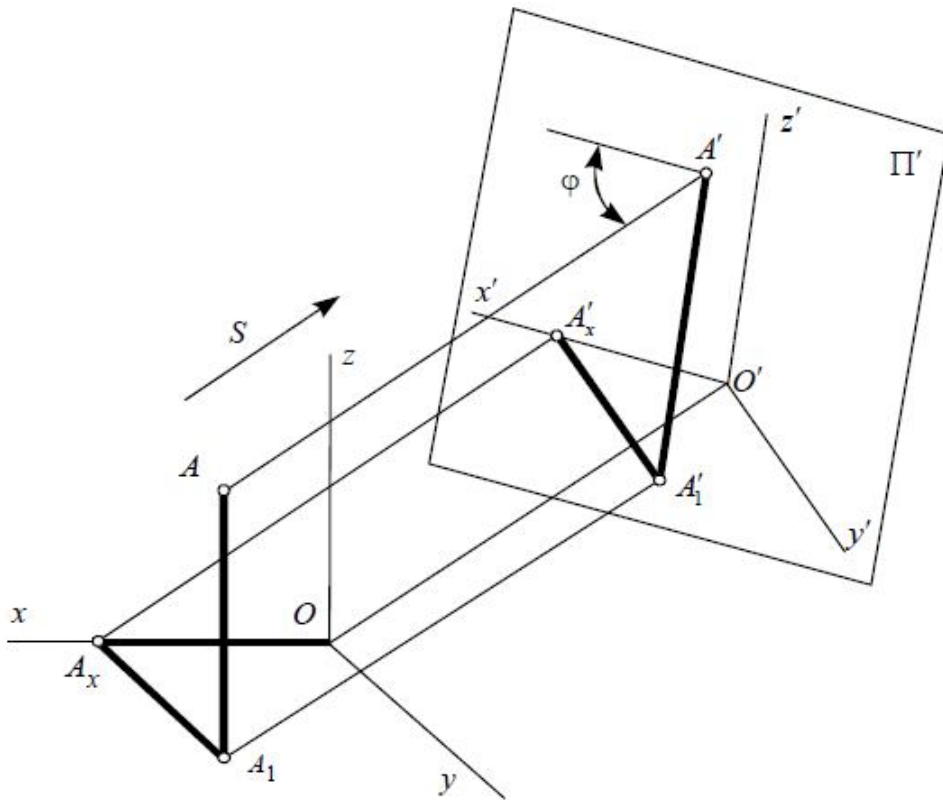


Рисунок 5.1

Оскільки площина  $\Pi'$  у загальному випадку не паралельна жодній з координатних осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , то зрозуміло, відрізки осей або відрізки, їм паралельні проектуються на площину  $\Pi'$  із спотворенням. Відношення довжини аксонометричної проекції відрізка

координатної осі або відрізка, паралельного цій осі, до довжини самого відрізка називають **коефіцієнтом спотворення по осях** і позначають:

$$\text{по осі } x - u = \frac{O'A'_x}{OA_x}; \quad \text{по осі } y - v = \frac{A'_x A'_1}{A_x A_1}; \quad \text{по осі } z - w = \frac{A'_1 A'}{A_1 A}.$$

## 5.2 Види аксонометрії

Залежно від напрямку проектування аксонометричні проєкції розділяються на **прямокутні** – напрям проектування перпендикулярний до площини  $\Pi'$ , і **косокутні** – напрям проектування не перпендикулярний до площини  $\Pi'$ .

Залежно від порівняльної величини коефіцієнтів спотворення по осях розрізняють **три види аксонометрії**:

1) **ізометрія**, коли усі три коефіцієнти спотворення дорівнюють один одному:  $u = v = w$ ;

2) **диметрія**, коли два коефіцієнти спотворення дорівнюють один одному, а третій їм не дорівнює, наприклад,  $u = w \neq v$ ;

3) **триметрія**, коли усі три коефіцієнти спотворення не дорівнюють один одному:  $u \neq v \neq w$ .

Основна теорема аксонометрії сформульована німецьким геометром К. Польке, а пізніше узагальнена Г. Шварцем:

*Будь-які три відрізки, що виходять з однієї точки на площині, можуть бути прийняті за паралельні проєкції трьох рівних і взаємно перпендикулярних відрізків у просторі.*

Згідно з цією теоремою будь-які три прямі в площині, що виходять з однієї точки і не співпадають між собою, можна прийняти за аксонометричні осі. Будь-які довільної довжини відрізки на цих прямих, відкладені від точки їхнього перетину, можна прийняти за аксонометричні масштаби. Коефіцієнти спотворення разом із тим пов'язані таким співвідношенням:

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2 + \operatorname{ctg}^2 \varphi,$$

де  $\varphi$  – кут між напрямом проектування і площиною аксонометричних проєкцій. Для прямокутної аксонометрії, коли  $\angle \varphi = 90^\circ$ , це співвідношення набирає вигляду

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2, \quad (1)$$

тобто сума квадратів коефіцієнтів спотворення дорівнює двом.

**ГОСТ 2.317-69** встановлює такі види аксонометричних проєкцій, які використовуються на кресленнях усіх галузей промисловості та будівництва:

- 1) **прямокутні** – ізометричну і диметричну проєкції;
- 2) **косокутні** – фронтальну й горизонтальну ізометричні проєкції, фронтальну диметричну проєкцію.

## 5.3 Прямокутна ізометрія

Положення аксонометричних осей наведено на рисунку 5.2, а. Із співвідношення (1) для прямокутної ізометрії отримуємо

$$3u^2 = 2 \quad \text{або} \quad u = v = w = \sqrt{2/3} \approx 0,82,$$

тобто відрізок координатної осі завдовжки **100 мм** у прямокутній ізометрії зобразиться відрізком аксонометричної осі завдовжки **82 мм**.

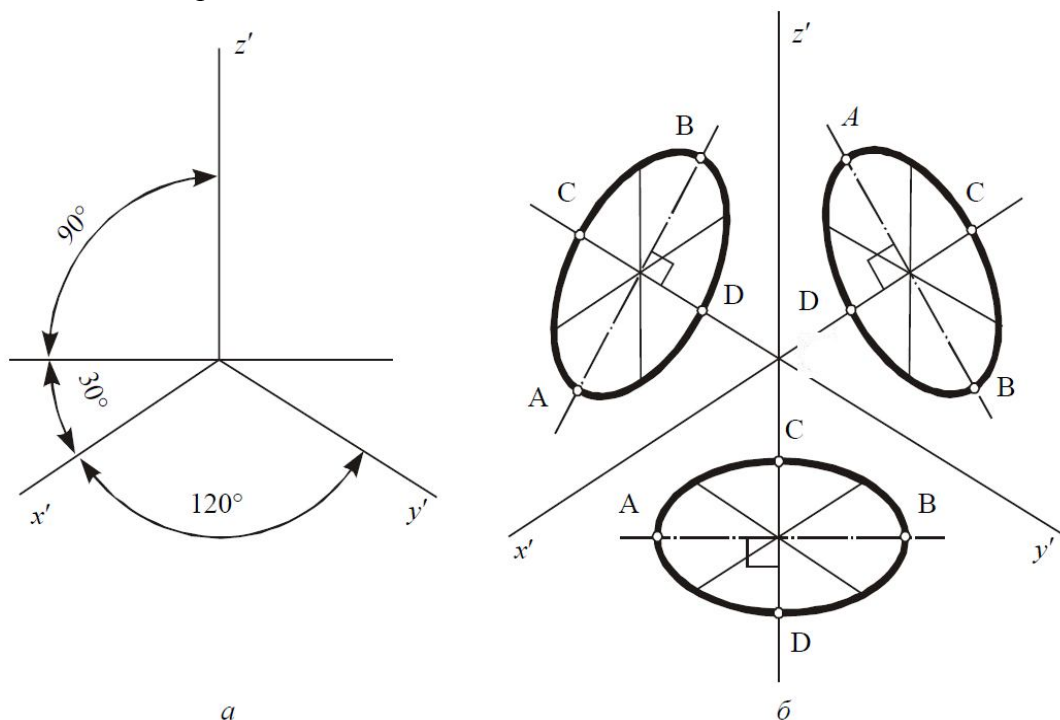


Рисунок 5.2

На практиці з метою спрощення ізометричну проекцію, переважно виконують без спотворення по осях **x, y, z**, тобто прийнявши **u = v = w = 1**. Побудоване у такий спосіб зображення буде більше самого предмета в **1,22** разу, тобто масштаб зображення в прямокутній ізометрії буде **M 1,22: 1**.

**Кола**, що належать площинам проекцій або площинам, їм паралельним, **проектуються** на аксонометричну площину проекцій в **еліпси**. Якщо ізометричну проекцію виконують з коефіцієнтом спотворення **u = v = w = 0,82**, то велика вісь еліпсів дорівнює діаметру кола, а мала вісь – **0,58** діаметру кола. Якщо **u = v = w = 1**, то велика вісь еліпсів дорівнює **1,22**, а мала вісь – **0,71** діаметра кола. Розташування великої і малої осей еліпсів подано на рисунку 5.2, б. Замість еліпсів, зазвичай, будують овали. Така заміна не впливає на наочність зображення.

На рисунку 5.3 наведено один із способів побудови чотирицентрового овалу, що замінює еліпс у прямокутній ізометрії. На рисунку 5.5 зображений в ізометрії шестикутник, розташований паралельно фронтальній (а), горизонтальній (б) і профільній (в) площинам проекцій.

## 5.4 Прямокутна диметрія

Положення аксонометричних осей наведено на рисунку 5.6, а. Із співвідношення (1) для прямокутної диметрії

$$u^2 + (u^2/4) + u^2 = 2,$$

$$u^2 = 8/9, \quad u = w = \sqrt{8/9} \approx 0,94, \quad v = 0,47.$$

На практиці переважно, диметричну проекцію виконують без спотворення по осях  $x$  і  $z$  і з коефіцієнтом спотворення **0,5** по осі  $y$ . Масштаб зображення в прямокутній диметрії буде **1,06 : 1**.

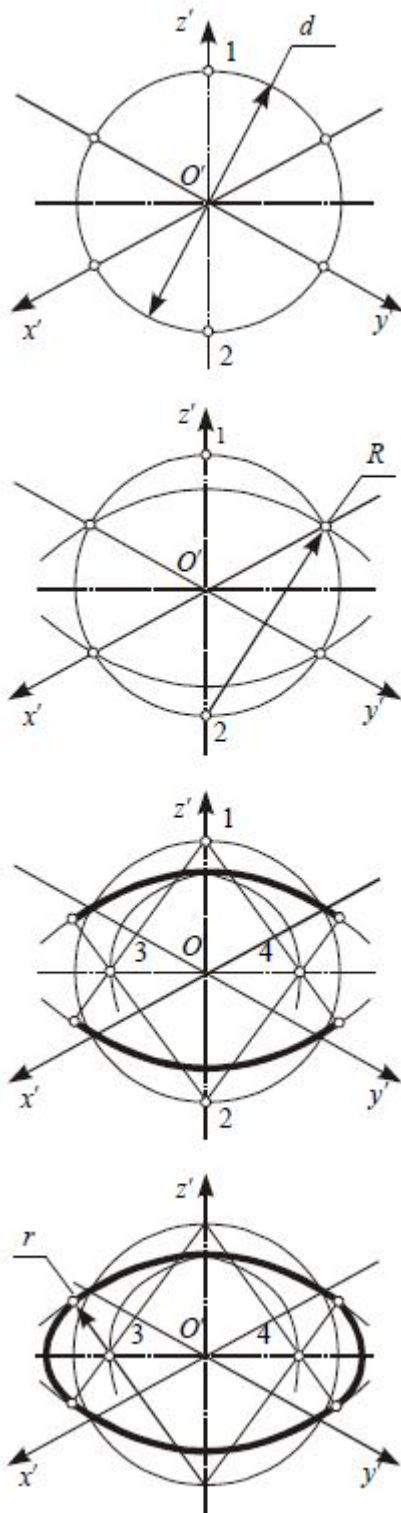


Рисунок 5.3

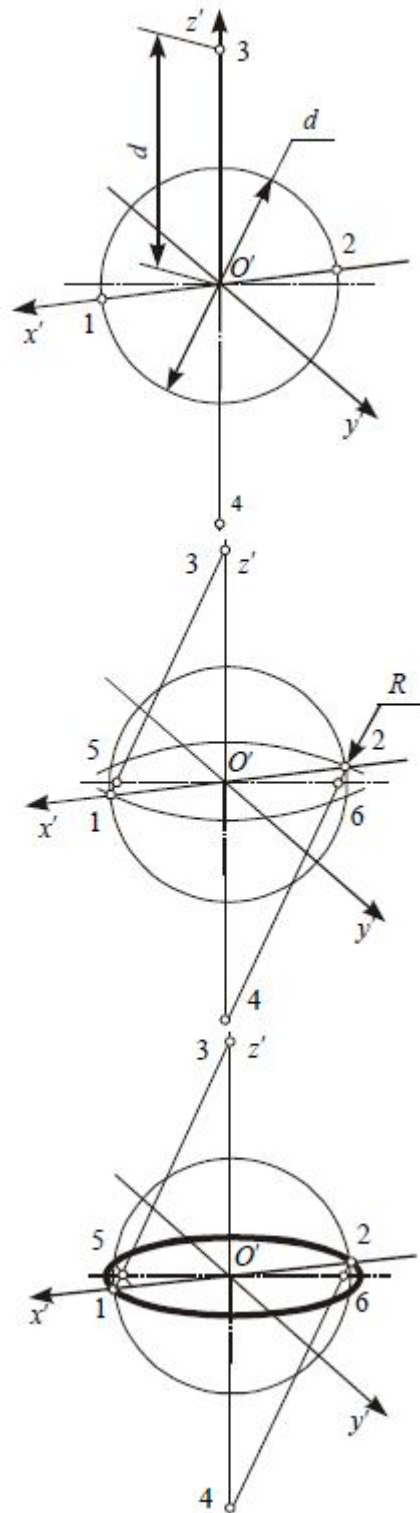


Рисунок 5.4

Кола, що належать площинам проєкцій або площинам, їм паралельним, проєктуються на аксонометричну площину проєкцій в еліпси. Якщо диметрична проєкція виконується з коефіцієнтами спотворення  $u = w = 1$  і  $v = 0,5$ , то велика вісь еліпсів **1, 2, 3**, (рис. 5.6, б), дорівнює **1,06** діаметра кола; мала вісь еліпса **1** – **0,95d**, еліпсів **2** і **3** – **0,35**

діаметру кола. Якщо диметрична проекція виконується з коефіцієнтом спотворення  $u = w = 0,94$  і  $v = 0,47$ , то велика вісь еліпсів **1, 2, 3** дорівнює діаметру кола, а мала вісь еліпса **1** –  $0,94d$ , еліпсів **2 і 3** –  $0,33d$ .

Розташування великої і малої осей еліпсів **1, 2 і 3** подано на рисунку 5.6, б. Із метою спрощення побудов замість еліпсів будують овали. На рисунку 5.4 показаний спосіб побудови овалу, якщо  $AB = 1,06d$  і  $CD = 0,35d$  (овали **2 і 3** рис. 5.6, б). Побудова овалу з великою віссю  $AB = 1,06d$ , малою віссю  $CD = 0,94d$  (овал **1** на рис. 5.6, б) подано на рисунку 5.7.

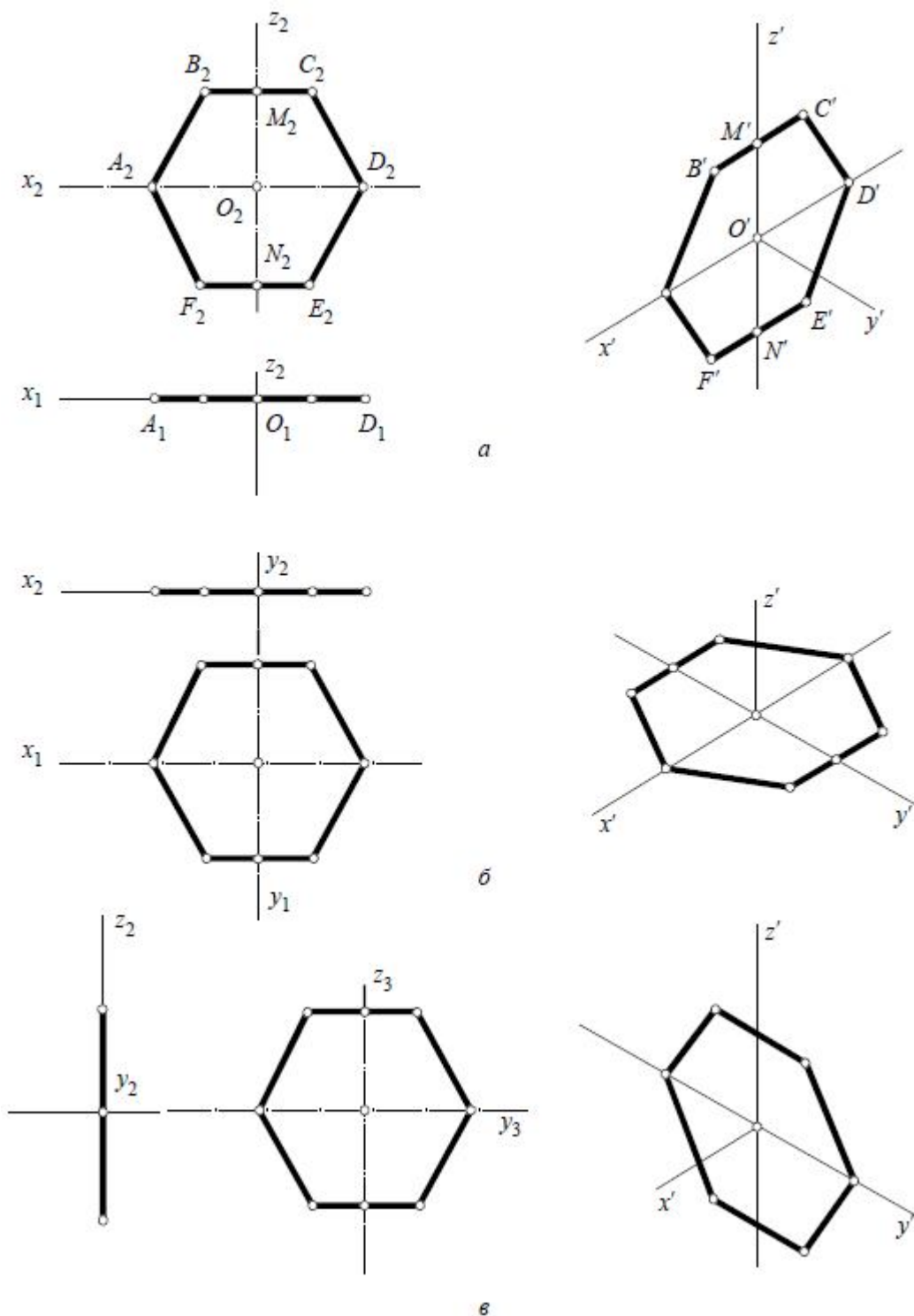


Рисунок 5.5



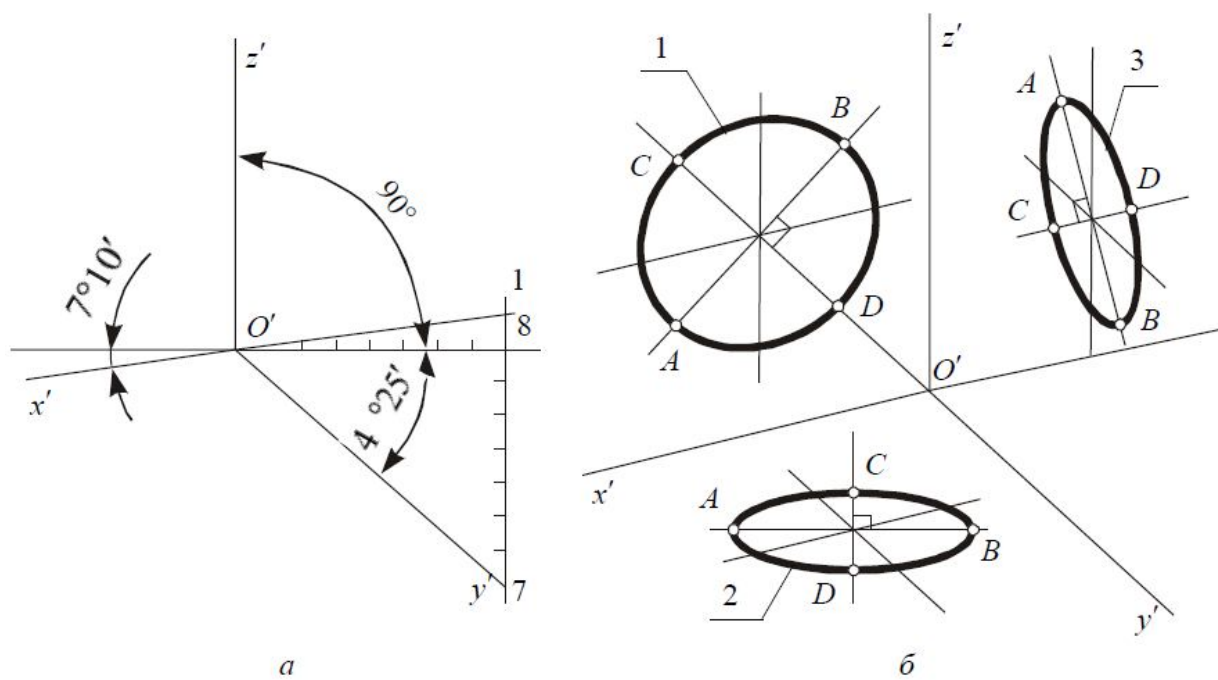


Рисунок 5.6

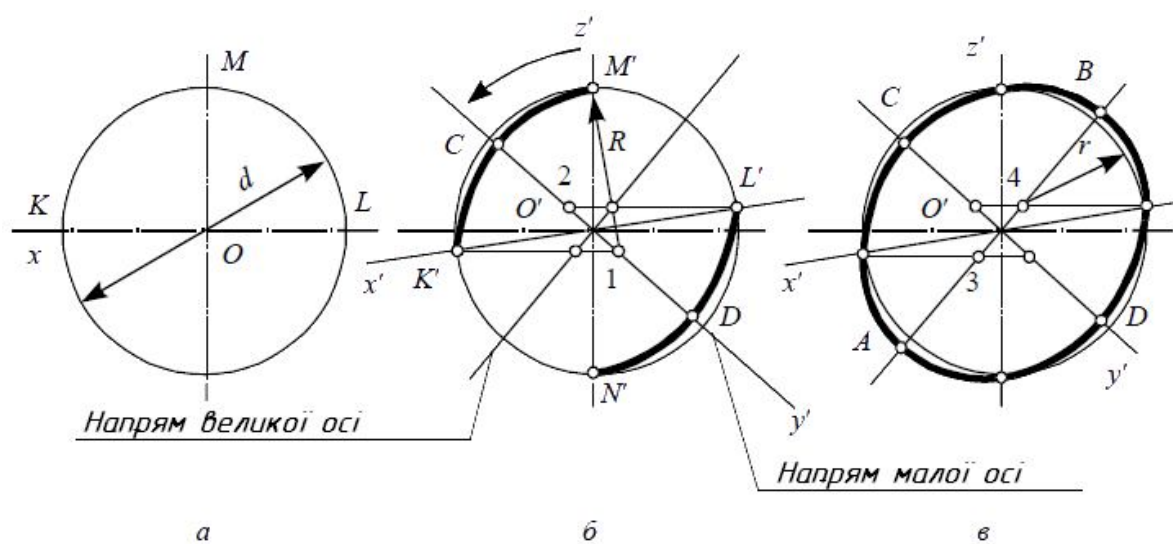


Рисунок 5.7

На рисунку 5.8 зображений в диметрії п'ятикутник, розташований паралельно горизонтальній (а), фронтальній (б) і профільній (в) площинам проєкцій.



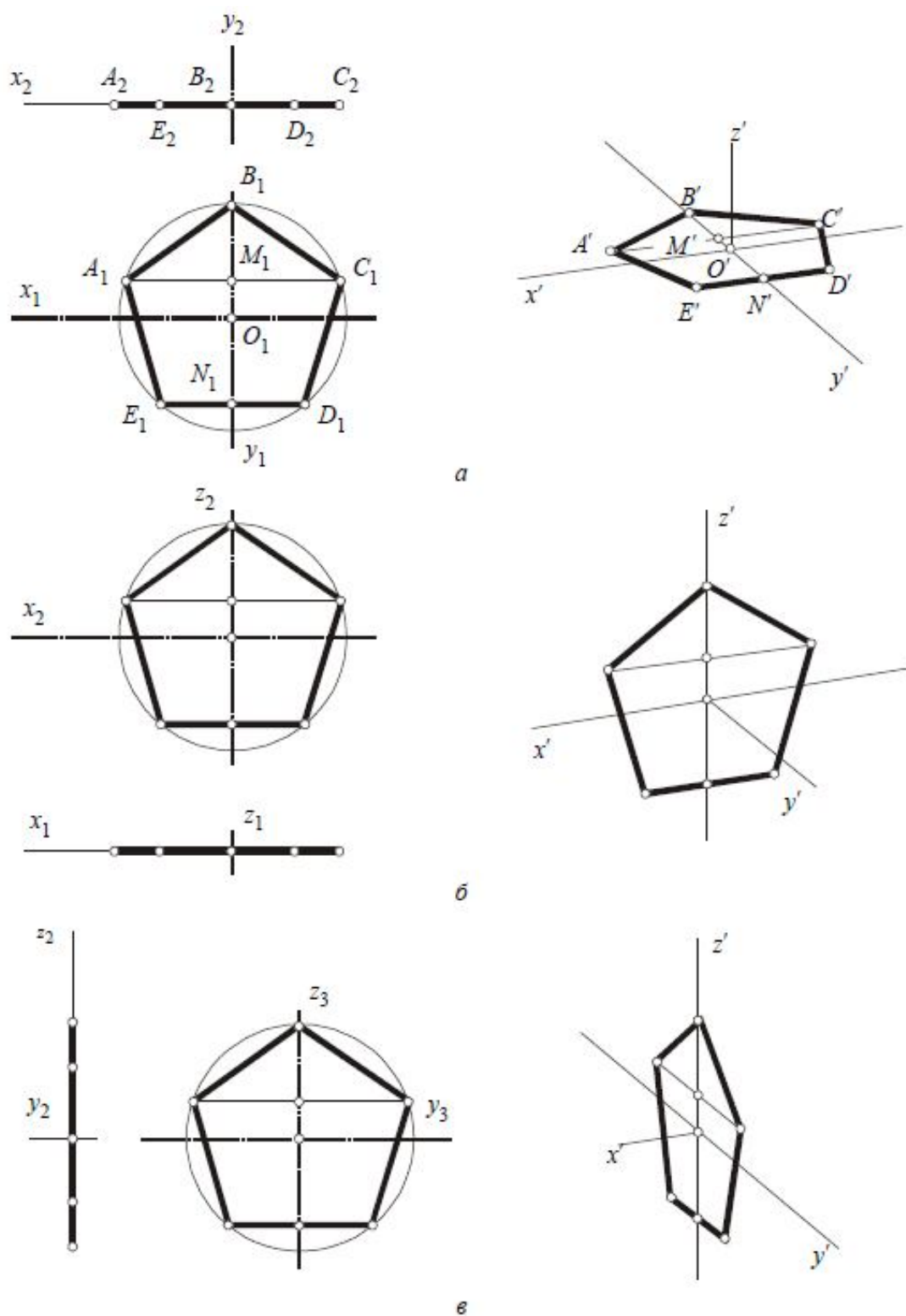


Рисунок 5.8

### 5.5 Побудова аксонометричних проєкцій кривих ліній

Побудову аксонометричної проєкції кривої лінії потрібно виконувати в такому порядку (рис. 5.9):

- 1) зарахувати цю лінію до декартової системи координат (рис. 5.9, а);
- 2) позначити на кривій точки **1, 2, 3, ...** і визначити їх координати (рис. 5.9, а);

3) по координатах точек **1, 2, 3, ...** побудувати їх вторинні проєкції **1<sub>1</sub>, 2<sub>1</sub>, 3<sub>1</sub>, ...** (рис. 5.9, б);

4) через вторинні проєкції точок провести прямі, паралельні осі **z'**, і відкласти на них аплікати точок;

5) з'єднати знайдені аксонометричні проєкції **1, 2, 3, ..., n'** точок плавною кривою лінією **l'**, яка є аксонометричною проєкцією кривої лінії **l**.

Побудова аксонометричної проєкції лінії перетину двох поверхонь виконується так само (рис. 5.10).

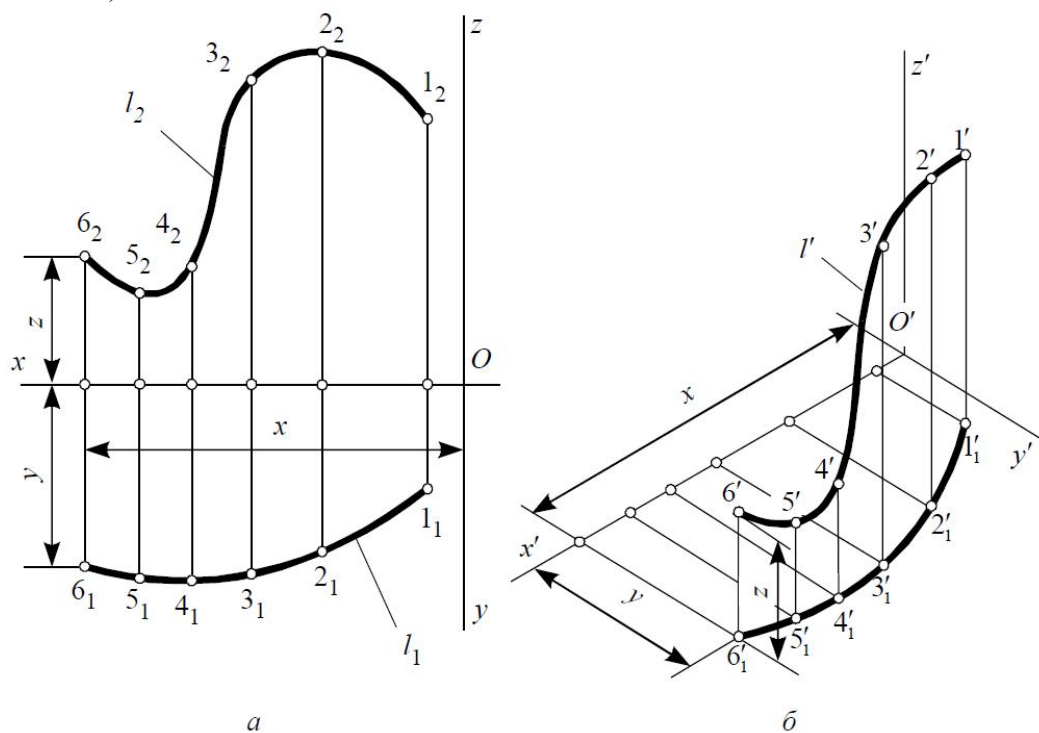


Рисунок 5.9

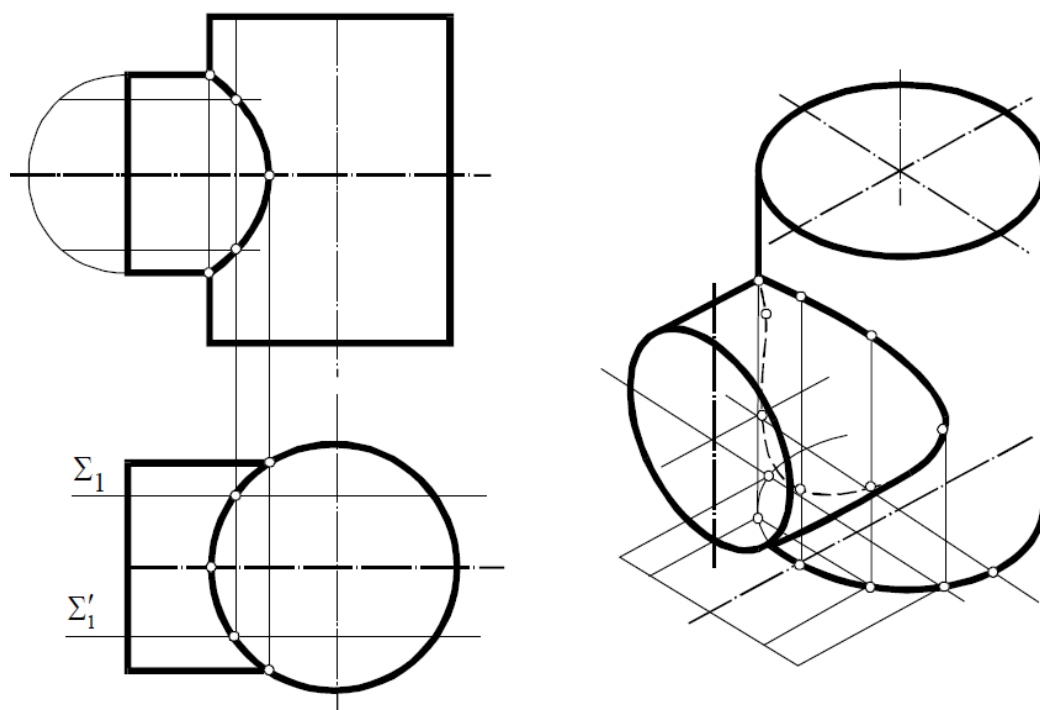


Рисунок 5.10

## 5.6 Послідовність побудови аксонометричних проєкцій предмету

Можна рекомендувати два варіанти послідовності побудови аксонометричних проєкцій об'єктів:

1) побудова фігур перерізу предмета площинами, паралельними до координатних площин, із подальшим доповненням до повного аксонометричного зображення предмета (рис. 12.1);

2) побудова аксонометрії усього предмета з подальшим виконанням розрізів площинами, паралельними до координатних площин (рис. 5.12).

Перший, спосіб раціональніший, тобто звільняє креслення від зайвих ліній.

У будь-якому разі процес побудови доцільно розбити на два етапи.

### **I етап – підготовчий:**

- 1) прочитати задане креслення;
- 2) вибрати вид аксонометричної проєкції;
- 3) визначити, які розрізи необхідно виконати, щоб виявити внутрішню будову предмета (січні площини мають бути паралельні до координатних площин  $x'O'z'$  і  $y'O'z'$ );
- 4) визначити черговість побудови зображень поверхонь, що обмежують предмет.

### **II етап – графічний (рис. 5.11) :**

1) зарахувати цей предмет до декартової системи координат із нанесенням на комплексному кресленні деталі проєкцій координатних осей, (рис. 5.11, а);

2) побудувати аксонометричні осі і аксонометричні проєкції перерізів координатними площинами  $x'O'z'$  і  $y'O'z'$ , одночасно нанести аксонометричні проєкції центрів усіх кіл (рис. 5.11, б);

3) побудувати еліпси, що є проєкціями кіл основ циліндрів і конусів, що обмежують окремі частини деталі (рис. 5.11, в);

4) побудувати прямолінійні ділянки й обвести лінії видимого контуру деталі (рис. 5.11, г);

5) видалити допоміжні лінії побудови, виконати штрихування і остаточно обвести креслення.

Графічна реалізація другого способу побудови аксонометрії деталі подана на рисунку 5.12.

У навчальній практиці іноді буває необхідно побудувати аксонометрію плоскої фігури. На рисунку 5.14 побудована прямокутна диметрія плоскої фігури Г ( $\Gamma_1, \Gamma_2$ ) (рис. 5.14, б) і прямокутна ізометрія фігури  $\theta$  ( $\theta_2, \theta_3$ ), (рис. 5.14, в).

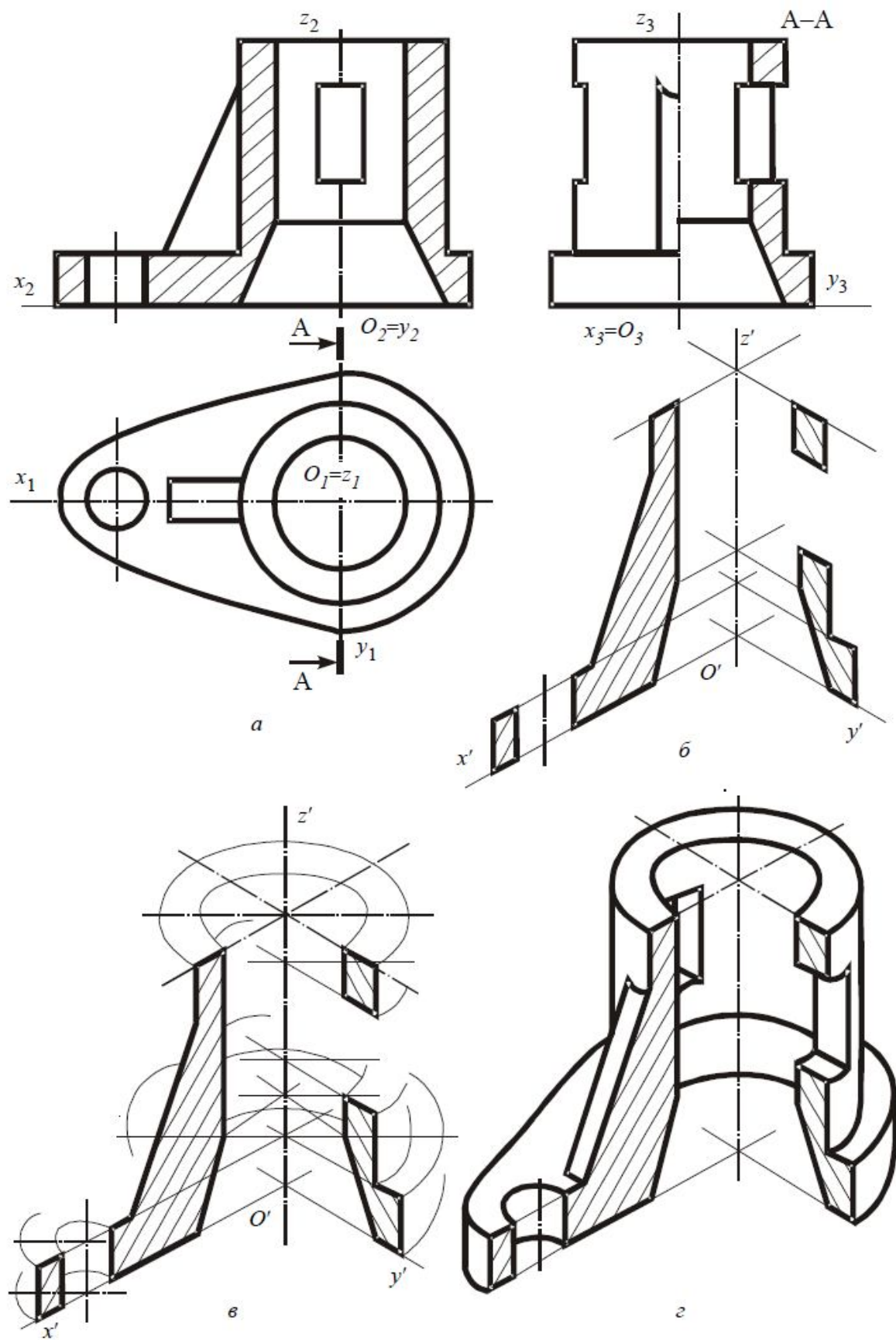


Рисунок 5.11

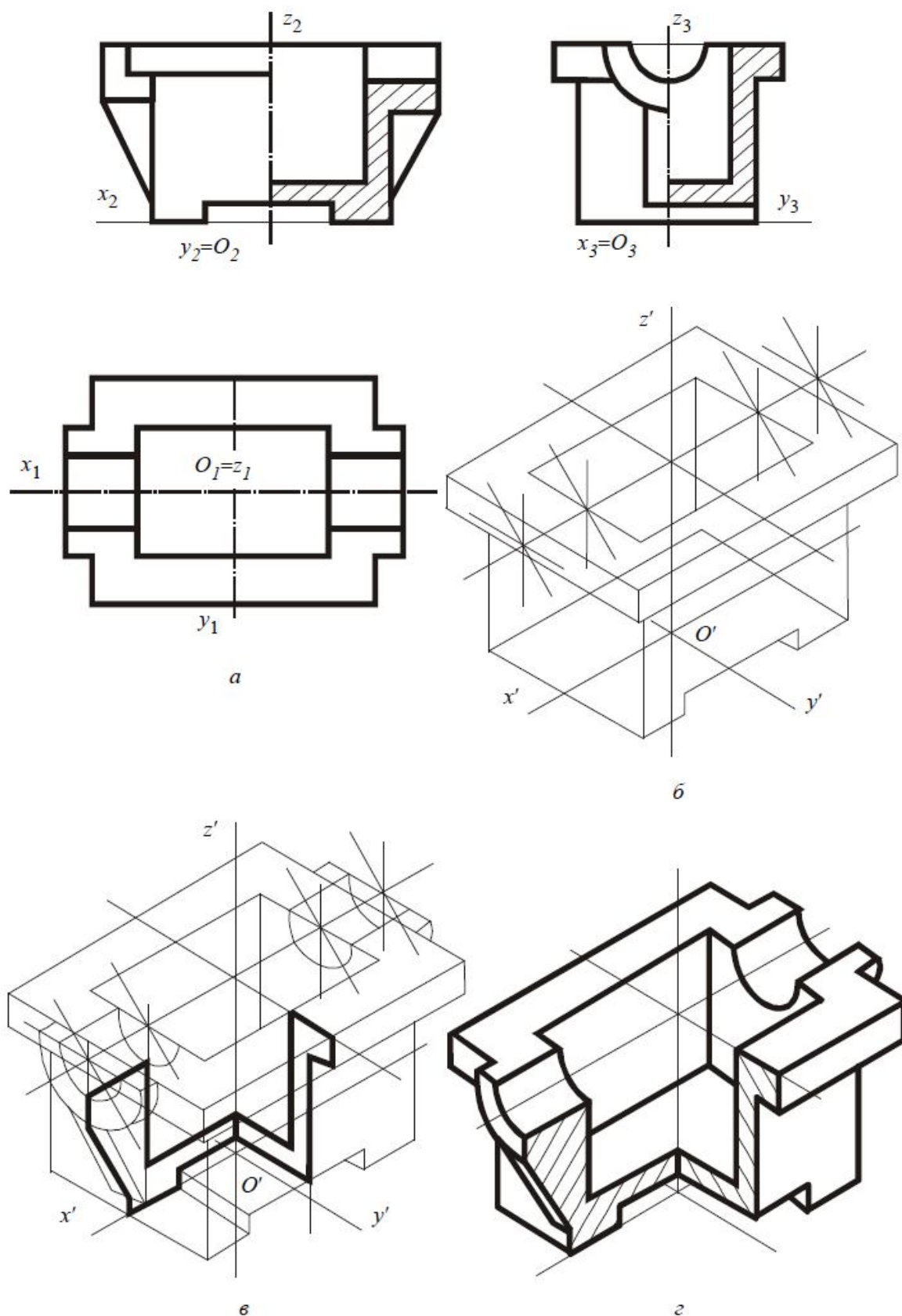


Рисунок 5.12

## 5.7 Умовності при виконанні аксонометричних проєкцій

Лінії штрихування перерізів наносять паралельно одній з діагоналей проєкцій квадратів, що належать відповідним координатним площинам сторони яких паралельні аксонометричним осям: у прямокутній симетрії – рисунку 5.13, а, у прямокутній ізометрії – рисунок 5.13, б.

На розрізах в аксонометричних проєкціях ребра жорсткості, спиці маховиків, шківів і подібні елементи штрихують (рис. 5.12).

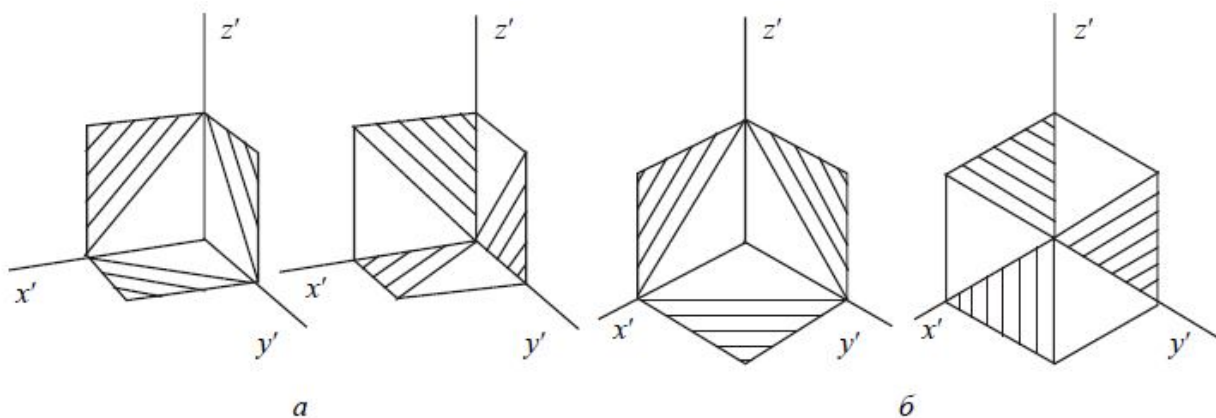


Рисунок 5.13

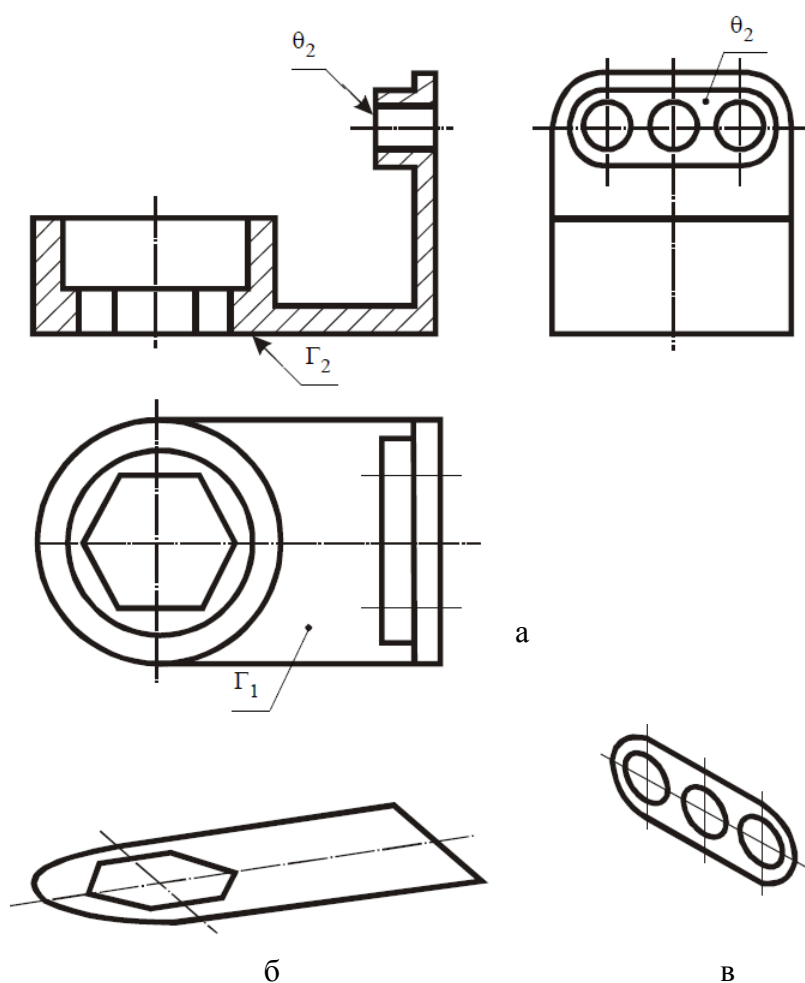


Рисунок 5.14

## **6 МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ КУРСУ. КОНТРОЛЬНІ ГРАФІЧНІ ЗАВДАННЯ**

Програма курсу інженерної графіки складається з лекцій, практичних занять, самостійного вивчення курсу за підручниками, розв'язання задач у робочих зошитах і виконання контрольних розрахунково-графічних завдань. Приступаючи до вивчення курсу інженерної графіки, варто повторити стереометрію, звернувши особливу увагу на розділи про прямі, площини і властивості геометричних фігур.

Основою інженерної графіки є нарисна геометрія, яка як наука має свої чіткі теоретичні обґрунтування. У нарисній геометрії для розв'язання загально-геометричних задач використовується геометричний спосіб, за якого властивості фігур вивчаються безпосередньо за кресленням, тоді як в інших частинах геометрії креслення є лише допоміжним засобом. Теоретичний матеріал на лекціях розглядається в певній логічній послідовності, використовується принцип «від простого до складного». Коло цих даних питань розширюється і поглиблюється, і незрозуміле або пропущене на початковій стадії вивчення курсу перешкоджає засвоєнню подальшого матеріалу, тому тільки під час вивчення теоретичного матеріалу, закріплення його шляхом виконання завдань на практичному занятті під керівництвом викладача і самостійно під час виконання у строк контрольних розрахунково-графічних завдань можна успішно засвоїти курс.

Усі графічні побудови під час розв'язання задач повинні виконуватися за допомогою креслярських інструментів та із застосуванням кольорових олівців. Використання кольорових олівців значно полегшує читання креслення. Усі точки, лінії, площини, задані і отримані в процесі побудови, мають бути позначені.

### **6.1 Виконання і оформлення графічних завдань**

Виконані завдання здаються викладачеві для перевірки в терміни, встановлені навчальним графіком. Студент захищає кожне завдання. Терміни захисту оголошуються на занятті. Під час оцінювання завдання на захисті враховується правильність вирішення завдань, що входять у контрольне графічне завдання, якість їхнього графічного виконання, міра засвоєння основних теоретичних положень курсу і рівень просторового мислення студента.

#### **6.1.1 Завдання 1. Перетин поверхонь**

Задані дві проекції геометричної фігури, що складається з поєднання простих геометричних фігур (призм, пірамід, циліндрів, конусів, сфер, торів).

Необхідно побудувати відсутні проекції лінії перетину фігур на виді зверху та виді спереду, а також побудувати третю проекцію фігури та лінії перетину поверхонь.

Робота охоплює сукупність трьох – чотирьох простих завдань на взаємний перетин поверхонь. Перш ніж розпочати розв'язувати задачу необхідно вивчити теоретичний матеріал за темами: «Перетин багатогранних і кривих поверхонь проектуючою площиною», «Побудова лінії перетину багатогранних і кривих поверхонь».

1. Роботу необхідно виконувати на аркуші креслярського паперу формату **A3 (297×420)**.

2. Початкове комплексне креслення виконують у масштабі **1:1** за розмірами поданими на картці кожного варіанту. **Розміри на комплексному кресленні не проставляють !!!**

3. Графічне виконання контрольного завдання повинне відповідати правилам виконання й оформлення креслень, що містяться у збірках ГОСТів ЄСКД.

4. Під час виконання завдання необхідно приділяти велику увагу компоунуванню графічних зображень на полі формату. Проекції геометричних образів побудови і написи мають бути рівномірно і раціонально розміщені на полі формату.

5. Усі геометричні образи завдань (точки, лінії, площини), задані й отримані в результаті графічних побудов, мають бути забезпечені літерними або цифровими позначеннями. Позначення і написи на кресленні виконують стандартним шрифтом (ГОСТ 2.304-68). Рекомендовано застосовувати шрифти розміром **5 і 3,5**.

6. На кресленні необхідно зберегти усі лінії побудови і лінії проекційного зв'язку. Лінії невидимого контуру викреслюють штриховими лініями.

7. Проекції заданих геометричних образів і усі побудови виконуються простим олівцем, **шукані елементи – кольоровим**.

8. Обов'язково мають бути визначені опорні точки ліній взаємного перетину поверхонь: екстремальні, нарисові і точки зміни видимості, точки на ребрах (для многогранників).

9. Приклад оформлення і виконання завдання подано на рисунку 6.1.

#### **Послідовність роботи над кресленням**

1. Викреслити умову завдання в тонких лініях.

2. Проаналізувати, з яких простих геометричних фігур (призм, пірамід, циліндрів, конусів, сфер) складається задана фігура.

3. Побудувати профільну проекцію в тонких лініях.

4. Визначити, з сукупності яких завдань на взаємний перетин поверхонь полягає пропонована робота.

5. Розпочати поетапне розв'язання цих задач у тонких лініях, застосувавши способи допоміжних січних площин або сферичних поверхонь, а також принцип належності точки поверхні.

6. Визначити видимість ліній перетину і позначити на кресленні.

7. Обвести креслення лініями необхідної товщини, а проекції ліній перетину поверхонь – **кольоровим олівцем**.

### **6.1.2 Завдання 2. Ескізування моделей**

Робота охоплює оформлення титульного аркуша і виконання ескізів двох – трьох моделей, які є поєднанням простих геометричних фігур – призм, пірамід, циліндрів, конусів, сфер.



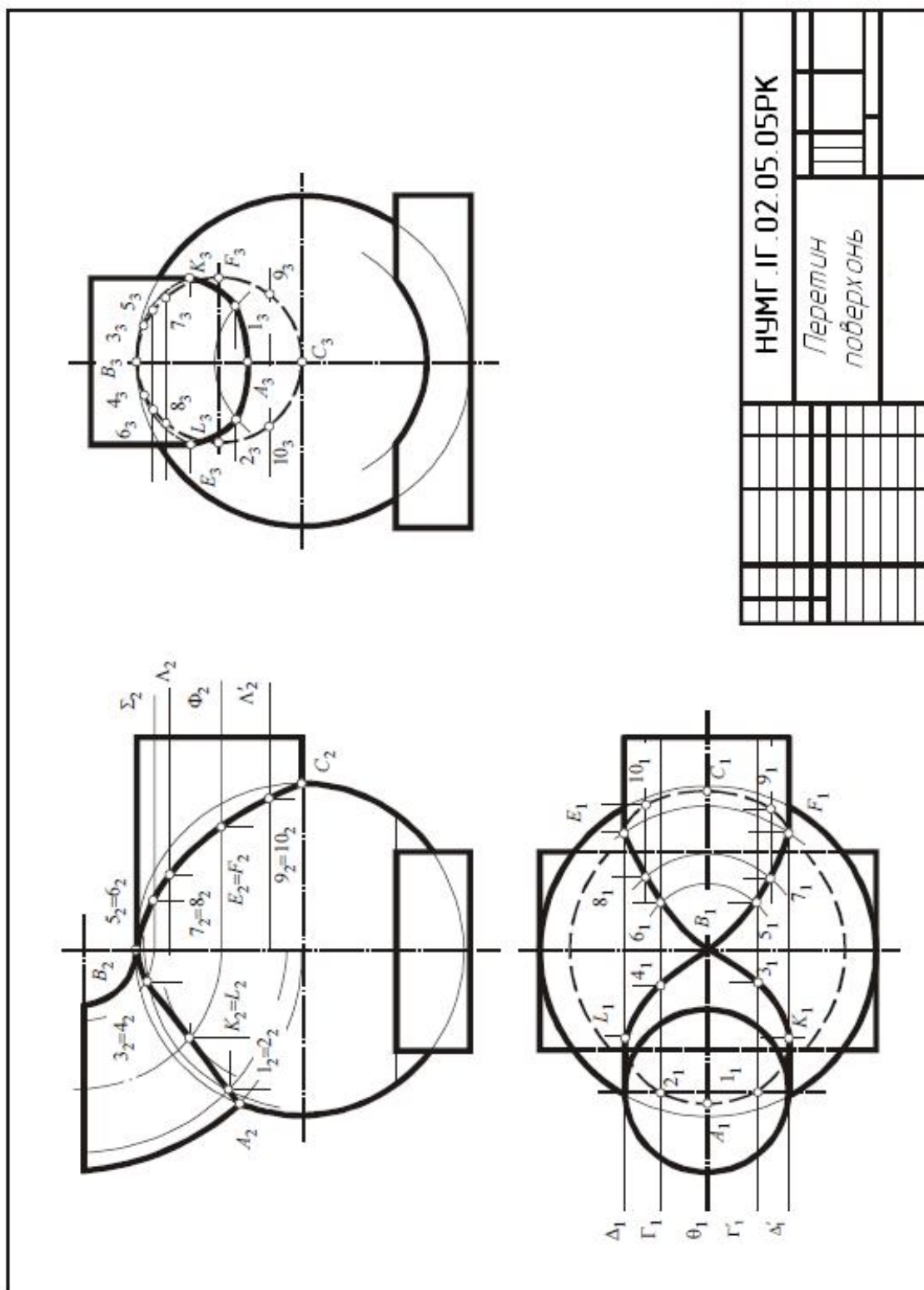


Рисунок 6.1

**Основна мета роботи:** розвинути вміння розв'язувати пряму задачу інженерної графіки – маючи предмет, побудувати його зображення з урахуванням проєкційного зв'язку в безосному кресленні, а також осмислити зв'язок між проєкціями предмета та його зображеннями, виконаними з умовностями, установлені ГОСТ 2.305–68.

### **Правила оформлення завдання**

1. Оформлення титульного аркуша – формат **A3 (297×420)**. Усі написи виконують олівцем шрифтом типу **Б** із нахилом згідно з **ГОСТ 2.304-81**. Для виконання написів на форматі наноситься сітка, яка зберігається і в готовій роботі.

2. Ескізи моделей виконують безпосередньо з моделі на аркуші в клітину формату **A3 (297×420)**.

3. Графічне виконання завдання повинне відповідати правилам виконання і оформлення креслень, що містяться у збірках **ГОСТів ЄСКД**.

Приклад виконання і оформлення завдання **2** подано на рисунку 4.21.

### **6.1.3 Завдання 3. Креслення деталі**

Це завдання складається з трьох робіт. Кожну роботу виконують на аркуші ватману формату **A3 (297×420)**.

**Робота 1.** За одним із основних видів сконструювати деталь з урахуванням заданих габаритних розмірів. Виконати креслення деталі, що складається з трьох зображень, які містять основні види і необхідні розрізи, нанести розміри. Побудувати аксонометричні проекції з вирізом площинами **XOY** і **YOZ** (прямокутну ізометричну або диметричну проекції).

Варто звернути увагу на компоновання аркуша креслення. Прямокутні проекції деталі потрібно розмістити так, щоб у нижній правій частині формату помістилося аксонометричне зображення деталі з вирізом.

Приклад виконання і оформлення завдання подано на рисунку 6.2.

**Роботи 2 і 3.** По двох заданих видах виконати креслення деталі, що складається з трьох зображень, розташованих на місці основних видів, побудувати вказаний складний розріз (у роботі **2** – ламаний, у роботі **3** – ступінчастий), а також інші необхідні для розкриття форми розрізи перерізи, місцеві та додаткові види, нанести розміри. Побудувати дійсний вид указанного похилого перерізу.

Приклади виконання і оформлення робіт **2 і 3** подано на рисунках 6.3 і 6.4.

### **Оформлення завдання 3**

1. Сукупність зображень (видів, розрізів, перерізів), із яких складається креслення, повинні повністю виявляти форму деталі.

2. У варіантах індивідуальних завдань на кресленнях–заготівках у низці випадків розміри нанесені недоцільно через відсутність третього зображення і необхідних розрізів. У виконуваних кресленнях розмірну сітку потрібно нанести на трьох зображеннях деталі, дотримуючись правил, встановлених **ГОСТ 2.307-68**. Розміри, що належать до зовнішньої форми предмета, потрібно нанести з боку виду, а розміри, що належать до внутрішніх поверхонь – з боку розрізу. Розміри, що належать до одного і того ж конструктивного елементу (пазу, виступу, отвору тощо), рекомендують групувати в одному місці, розташовуючи їх на тому зображенні, на якому геометрична форма цього елементу показана повністю.

3. Композиція креслення має бути раціональною. Композиція полягає у визначеному розташуванні, що відповідає визначеному завданню, на аркуші формату усіх елементів креслення: основних, місцевих, додаткових видів, перерізів, написів тощо. Зрозумілість креслення, зорова рівновага усіх його елементів на аркуші формату і доцільне використання поля цього формату – необхідні вимоги, що ставляться до креслень будь-якого призначення.

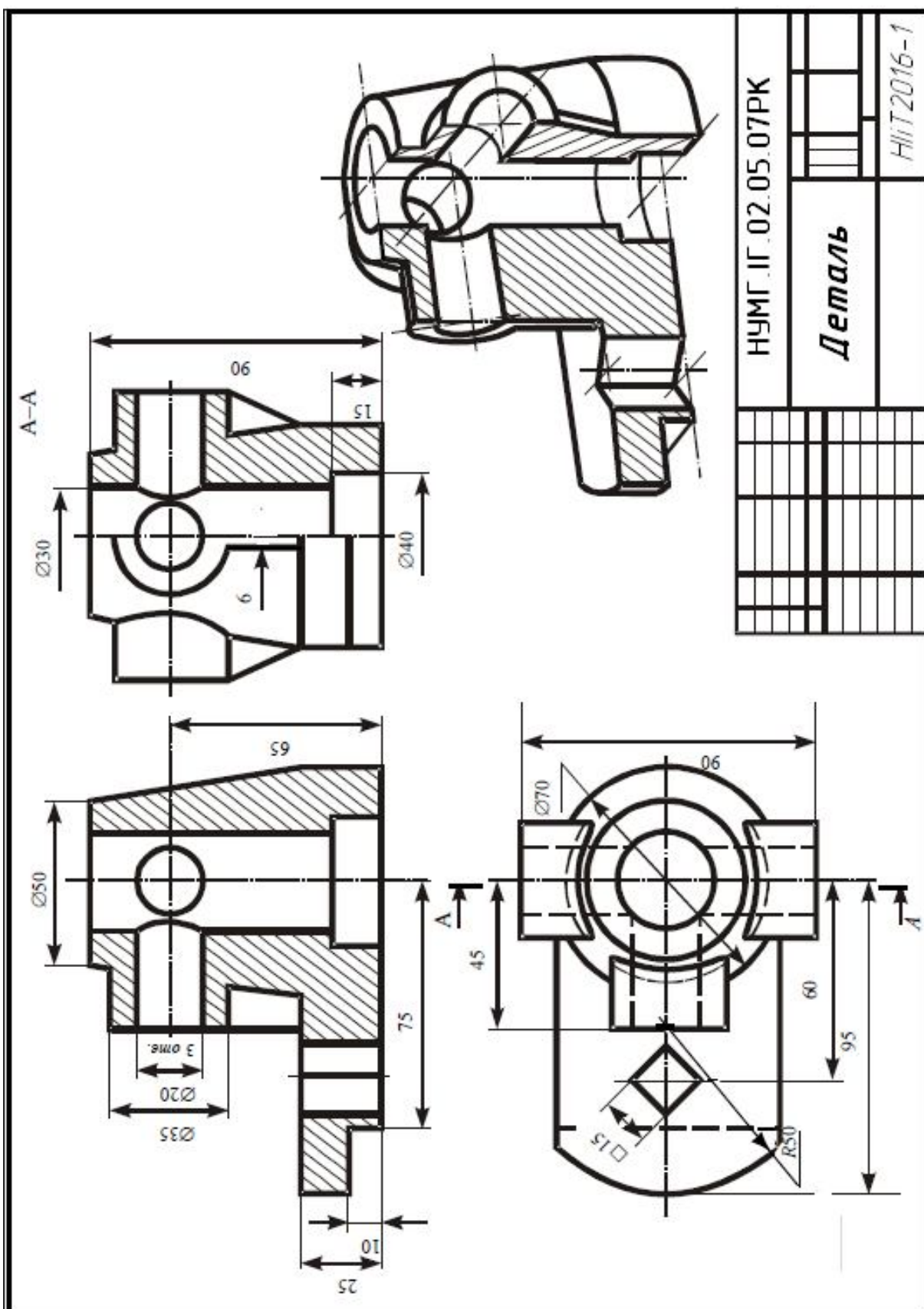


Рисунок 6.2

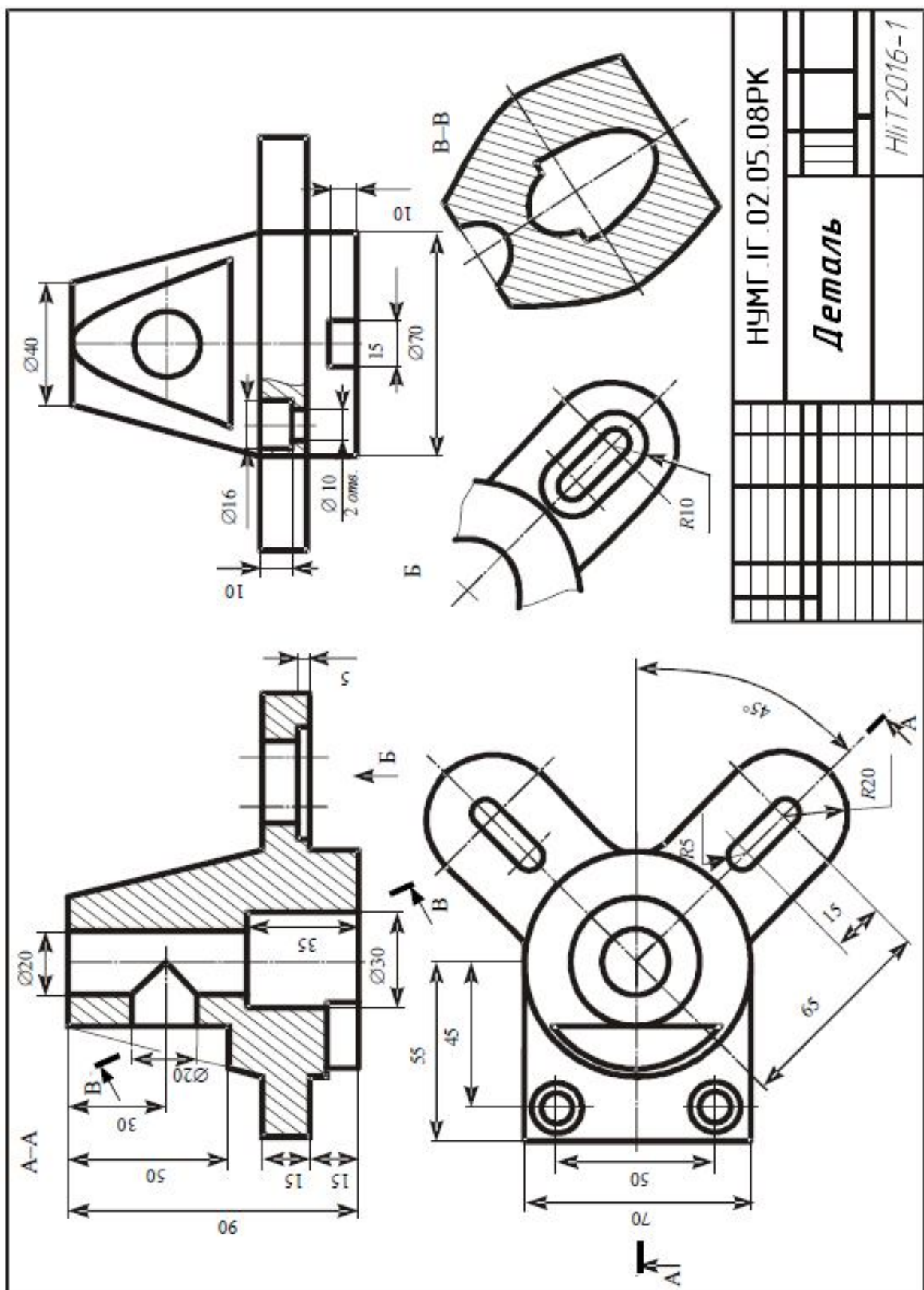


Рисунок 6.3

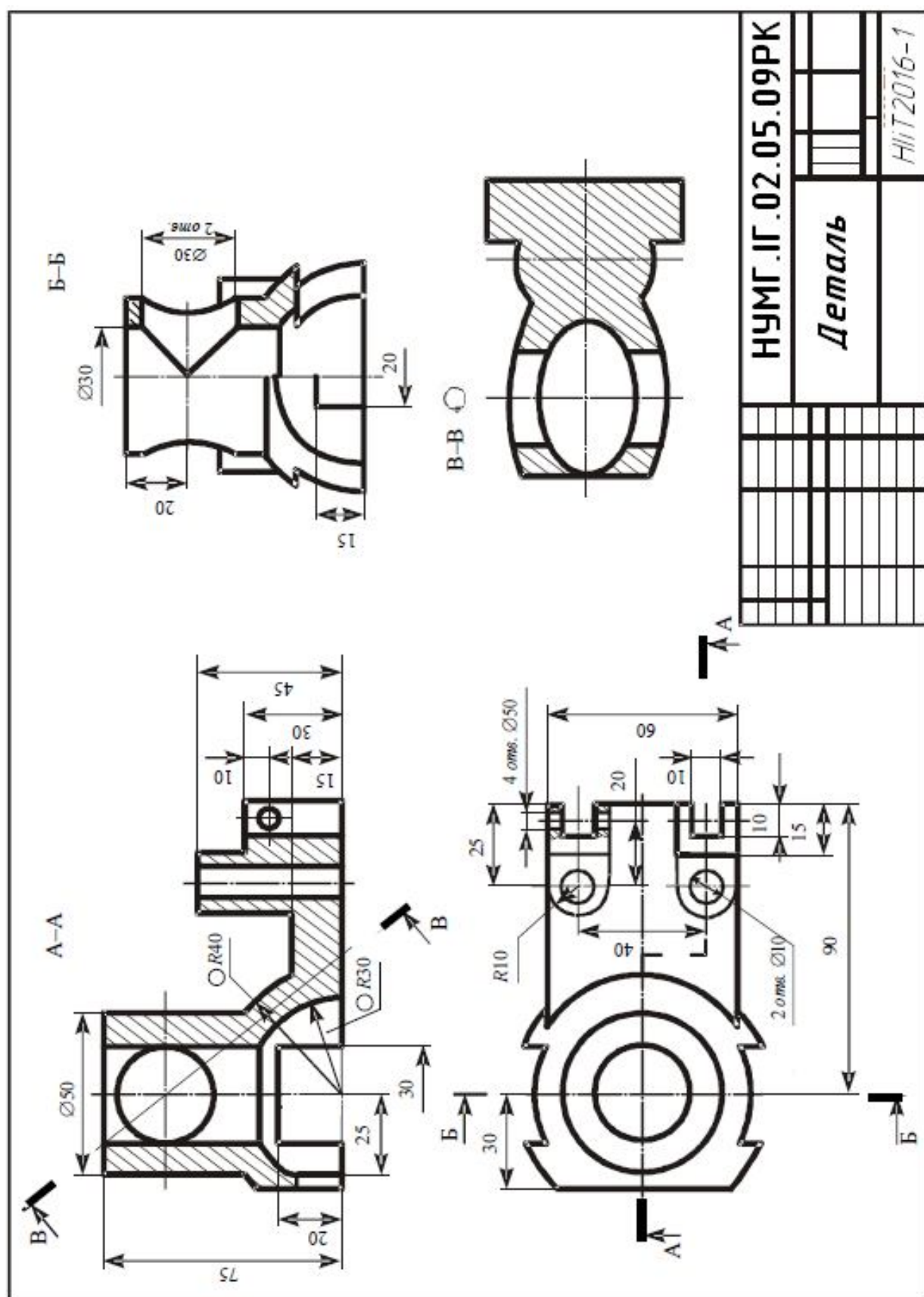


Рисунок 6.4



## **6.2 Підготовка до захисту завдань**

### **Самоконтроль засвоєння навчального матеріалу**

#### **6.2.1 Питання до захисту завдання 1**

1. Що таке креслення? Значення креслення в практичній діяльності людини. Вимоги, що висуваються до креслення.
2. Для чого Ви вивчаєте інженерну графіку?
3. Які геометричні фігури задані на Вашому кресленні?
4. Що таке лінія перетину двох поверхонь?
5. Яка послідовність вирішення завдань на перетин поверхонь?
6. У чому полягає сутність методу допоміжних січних площин?
7. Запишіть символічне вираження сутності методу допоміжних січних площин.
8. Подайте визначення повного перетину (проникнення) і часткового (врізання) двох поверхонь.
9. Як вибираються допоміжні січні площини під час вирішення завдання на перетин площин?
10. Які методи використовуються для визначення опорних і проміжних точок лінії перетину двох поверхонь?
11. Що становить лінія перетину багатогранної і кривої поверхонь?
12. Які точки позначаються як опорні під час перетину багатогранної і кривої поверхонь?
13. Який характер лінії перетину двох кривих поверхонь?
14. Які точки позначаються як опорні під час перетину кривих поверхонь?
15. Який характер лінії перетину багатогранних поверхонь?
16. Які опорні точки лінії перетину многогранників?
17. Як визначається видимість проєкцій лінії перетину поверхонь на кресленні?
18. Що таке соосні поверхні обертання?
19. Що становить лінія перетину соосних поверхонь обертання?
20. На якій властивості соосних поверхонь обертання базується використання способу допоміжних сфер під час розв'язання задач на перетин?
21. За яких умов, розв'язуючи задачу на перетин, можливо застосувати спосіб концентричних сфер?
22. За яких умов застосовується спосіб ексцентричних сфер?
23. На які лінії може розпадатися в окремому випадку лінія перетину двох поверхонь другого порядку?
24. Сформулюйте теореми, що визначають умови розпаду кривої четвертого порядку на дві криві другого порядку.

#### **6.2.2 Відповіді на питання до завдання 1**

1. Сукупність двох і більше взаємозв'язаних зображень предмета називається кресленням. Креслення має велике значення в практичній діяльності людини. Воно є засобом вираження задумів ученого і конструктора, а також основним виробничим документом, за яким здійснюється будівництво будівель і інженерних споруд, виготовлення машин, механізмів і їхніх складових частин. Не будь-яке креслення може бути використане для цього, а тільки таке, яке має зворотність, зручовимірюваність,

наочність, геометричну рівноцінність оригіналу, простоту побудови, точність графічних рішень.

*«Креслення є мовою техніки»*, – зазначав один із творців нарисної геометрії – Гаспар Монж. Доповнюючи висловлювання Г. Монжа, професор В. І. Курдюмов – автор класичного підручника з нарисної геометрії – писав: *«Якщо креслення є мовою техніки, то нарисна геометрія є граматикою цієї мови, оскільки вона учить нас правильно читати чужі і викладати наші власні думки, користуючись як словами одними тільки лініями і точками, як елементами всякого зображення»*.

2. Інженер у своїй практичній діяльності не може обійтися без знання цієї науки. Знання і навички, набуті під час вивчення інженерної графіки, можуть бути надалі основою для вирішення технічних завдань в інженерній практиці. Вивчення нарисної геометрії і інженерної графіки розвиває просторове і логічне мислення необхідне у будь-якій сфері інженерної діяльності, і особливо для конструктора і проектувальника.

3. На кресленні задані дві геометричні фігури, (наприклад: прямий круговий конус і циліндр; чи сфера, тор, призма, зрізана піраміда).

4. Спільна лінія двох поверхонь називається лінією їх перетину.

5. Загальний порядок вирішення завдань на перетини поверхонь має бути таким:

а) з'ясувати вид і розташування заданих поверхонь відносно одна одної і площин проєкцій;

б) визначити характер лінії перетину (крива або ламана, просторова або плоска і т. і.)

в) визначити опорні точки (точки на ребрах многогранників, екстремальні і нарисові точки);

г) визначити проміжні точки;

д) визначити видимість проєкцій ліній перетину і нарисів поверхонь.

6. Сутність способу допоміжних площин полягає в такому:

а) проводять допоміжну площину  $\Sigma$ , яка перетинає задані поверхні  $\Phi$  і  $\Psi$ ;

б) визначають лінії  $m$  і  $n$  перетини допоміжної площини  $\Sigma$  з кожною із заданих поверхонь;

в) позначають точки  $1$  і  $2$  перетину побудованих ліній  $m$  і  $n$ , які є шуканими, оскільки одночасно належать заданим поверхням.

7. У символічному виді сутність способу може бути виражена так:

1)  $\Sigma \wedge \Phi, \Sigma \wedge \Psi$ ;

2)  $m = \Sigma \wedge \Phi, n = \Sigma \wedge \Psi$ ;

3)  $1 = m \wedge n ; 2 = m \wedge n$ .

8. Перетин може бути повним (проникнення) і частковим (врізка). При повному перетині усі твірні (чи ребра) однієї поверхні перетинаються з другою поверхнею. У цьому випадку лінія перетину розпадається на дві замкнуті самостійні криві або ламані. За часткового перетину частина твірних (чи ребер) однієї поверхні перетинається з частиною твірних (чи ребер) іншої. У цьому випадку лінія взаємного перетину є замкнутою просторовою кривою або ламаною лінією.

9. Під час вирішення завдань на побудову лінії перетину поверхонь допоміжні січні площини варто вибирати так, щоб вони перетинали кожен задану поверхню по лініях, проєкції яких були б прямими або колами.

10. Для знаходження точок перетину застосовують принцип приналежності або використовують допоміжні поверхні: площини або сфери.

Під час рішення багатьох завдань ці способи застосовують спільно.

11. Лінія перетину багатогранної і кривої поверхонь є сукупністю декількох плоских кривих, кожна з яких – результат перетину кривої поверхні з однією із граней многогранника. Ці плоскі криві попарно перетинаються в точках перетину ребер многогранника з кривою поверхнею. Окремі ділянки лінії, що отримуються під час перетину, є криві: еліпс, гіпербола, парабола, коло та ін.

12. Опорні точки під час перетину багатогранних і кривих поверхонь – це точки перетину ребер многогранника з кривою поверхнею, екстремальні і точки зміни видимості.

13. Лінія перетину двох поверхонь другого порядку взагалі (частковий перетин) є алгебраїчною кривою четвертого порядку, яка під час повного перетину може розпадатися на дві або більше частин.

14. Опорними точками лінії перетину двох кривих поверхонь є: екстремальні точки (вища і нижча відносно  $\Pi_1$ , ближня і далека відносно  $\Pi_2$ ); нарисові точки (проекції яких належать нарисам горизонтальної, фронтальної і профільної проекціям заданих фігур, які перетинаються між собою) і точки зміни видимості (точки, у яких проекції лінії перетину на кресленні змінюють видимість).

15. Дві багатогранні поверхні перетинаються по замкнутій просторовій ламаній лінії (випадок врізування), яка може розпадатися на дві замкнуті ламані (випадок проникнення).

16. Опорні точки спільної лінії двох многогранників – це точки перетину ребер першого многогранника з гранями другого і ребер другого многогранника з гранями першого.

17. Видимість проекцій лінії перетину на кресленні визначається за допомогою точок зміни видимості відносно горизонтальної, фронтальної і профільної площин проекцій. Проекції точок і ліній, що належать видимій частині поверхні, на кресленні видимі.

18. Поверхні обертання, що мають спільну вісь, називаються соосними.

19. Соосні поверхні обертання перетинаються по колах.

20. Застосування допоміжних сфер під час побудови лінії перетину кривих поверхонь ґрунтується на властивості соосних поверхонь обертання перетинатися по колах.

21. Для застосування способу концентричних сфер потрібне виконання таких умов:

а) перетин поверхонь обертання;

б) осі поверхонь – прямі, що перетинаються і паралельні одній з площин проекцій, тобто є спільна площина симетрії;

в) не можна використати спосіб допоміжних площин, оскільки вони не дають графічно простих ліній на поверхнях.

22. Коли осі поверхонь, що перетинаються між собою, мимобіжні, то спосіб концентричних сфер застосувати не можна. Спосіб ексцентричних сфер можна застосувати у тому випадку, якщо:

а) кожна з поверхонь має кругові перерізи;

б) є спільна площина симетрії, паралельна одній з площин проекцій.



23. В окремому випадку лінія перетину двох поверхонь другого порядку може розпадатися на лінії нижчих порядків, сума порядків яких дорівнює 4:

- а) на чотири прямих –  $1+1+1+1$ ;
- б) на дві прямі і криву другого порядку –  $1+1+2$ ;
- в) на пряму і криву третього порядку –  $1+3$ ;
- г) на дві криві другого порядку –  $2+2$ .

24. Теорема 1. *Якщо дві поверхні другого порядку перетинаються по одній плоскій кривій, то вони перетинаються ще по одній кривій, яка теж буде плоскою.*

Теорема 2. *Якщо дві поверхні другого порядку мають дотик у двох точках, то лінія їхнього перетину розпадається на дві криві другого порядку площини яких проходять через пряму, що сполучає точки дотику.*

Теорема 3 (Монжа). *Якщо дві поверхні другого порядку описані навколо третьої або вписані в неї, то лінія їхнього перетину розпадається на дві криві другого порядку, площини яких проходять через пряму, що сполучає точки перетину лінії дотику.*

### 6.2.3 Питання до захисту завдань 2 і 3

1. Що є єдиним комплексом стандартів? Коли він розроблений?
2. Які стандарти вивчаються під час виконання завдань із проекційного креслення?
3. Які інструменти і пристосування варто застосовувати під час виконання графічних завдань?
4. Розповісти про стандарт на формати.
5. Назвіть масштаби зменшення і збільшення, установлені ГОСТ 2.302-68.
6. Розкажіть про типи ліній, установлених ГОСТ 2.303-68, про їхнє призначення під час виконання креслень.
7. Розкажіть про основний напис, установлений для оформлення креслень.
8. Перерахуйте основні види відповідно до ГОСТ 2.305-68.
9. Подайте визначення виду.
10. Що таке місцевий вид?
11. Що таке додатковий вид?
12. Подайте визначення перерізу.
13. Подайте визначення розрізу.
14. Як класифікуються розрізи залежно від кількості січних площин?
15. Що називається місцевим розрізом?
16. Як підрозділяються складні розрізи?
17. У чому основна відмінність між винесеним і накладеним перерізами?
18. Які лінії використовуються для зображення винесеного і накладеного перерізів?
19. Для чого використовуються перерізи і розрізи?
20. У якому випадку не позначається положення січної площини під час зображення розрізу?
21. Як класифікуються розрізи залежно від положення січної площини?
22. У чому полягає геометричний принцип задання розмірів на кресленні предмета?
23. Подайте визначення розмірів форми, розмірів положення (координатних), габаритних розмірів.
24. Яким стандартом установлюються правила нанесення розмірів на кресленнях?
25. Що становить аксонометрична проекція геометричної фігури, предмета?

26. Що таке коефіцієнт спотворення по осях?
27. Назвіть три типи аксонометрії залежно від коефіцієнта спотворення по осях.
28. У чому відмінність між косокутною і прямокутною аксонометричними проекціями?
29. Розкажіть про встановлені ГОСТ 2.317-69 правила штрихування перерізів в аксонометричній проекції?
30. Розкажіть про способи побудови чотирьохцентрових овалів, замінюючих еліпс в ізометрії і в диметрії, в аксонометричних площинах XOY і XOZ.

#### 6.2.4 Відповіді на питання до завдань 2 і 3

1. Перші стандарти на оформлення креслень були затверджені в 1928 р. Потім вони доповнювалися і змінювалися. У 1965 – 1967 р. р. був розроблений комплекс стандартів – **Єдина система конструкторської документації (ЕСКД)**.

Цей комплекс, що містить більше ста ГОСТів, вводить єдині правила оформлення конструкторської документації, установлює єдину термінологію, що використовується під час проектування.

2. Під час виконання завдань із проекційного креслення вивчаються стандарти на оформлення креслень, такі як **«Формати», «Масштаби» «Лінії», «Шрифти креслярські», «Зображення – види, розрізи, перерізи» «Позначення графічні матеріалів і правила їх нанесення на кресленнях» «Нанесення розмірів і граничних відхилень», а також «Аксонометричні проекції».**

3. Під час виконання графічних завдань із креслення використовують олівці різної твердості, лінійки, косинці, циркулі, гумки, пристосування для заточування олівців, а також аркуші ватманського паперу формату **A3**.

4. Усі креслення повинні виконуватися на аркушах певних розмірів які встановлені **ГОСТ 2.301-68**. Використання стандартних форматів економить папір і створює зручність зберігання креслень. **ГОСТ 2.301-68** встановлює п'ять основних форматів для креслень, а саме: **A4 (297×210), A3 (297×420), A2 (594×420), A0 (1189×841)**. Допускають застосування додаткових форматів, що утворюються збільшенням коротких сторін основних форматів на величину, кратну їхнім розмірам.

5. **ГОСТ 2.302-68** установлює масштаби зменшення : **1:2; 1:2,5; 1:4; 1:10n** і масштаби збільшення: **2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10n:1**.

6. Під час виконання завдань застосовують шість основних типів ліній зображення, призначення яких визначає **ГОСТ 2.303 – 68**. Ці лінії є такими: **суцільна товста основна** – для ліній видимого контуру; **суцільна тонка** – для розмірних і виносних ліній, контуру накладеного перерізу, ліній штрихування; **суцільна хвиляста** – для ліній обриву, розмежування виду і розрізу; **штрихова** – для ліній невидимого контуру; **штрих-пунктирна** – для осевих і центрових ліній; **розімкнена** – для позначення ліній перерізів.

7. **ГОСТ 2.304-68** установлює габаритні розміри основних написів, а також обсяг необхідної інформації, що міститься в них. Основний напис розташовується в нижньому правому кутку креслення. **На форматі A4 – тільки уздовж короткої сторони.**

8. **ГОСТ 2.305-68** установлює шість основних видів, що отримуються на основних площинах проекцій: **спереду** (головний вид), **згори, ліворуч, справа, знизу, ззаду**.

9. **Вид** – зображення зверненої до спостерігача видимої частини поверхні предмета.

10. Зображення окремого, обмеженого місця поверхні предмета називається місцевим видом.

11. Додатковий вид виходить на площинах, непаралельних основним площинам проекцій.

12. **Переріз** – зображення фігури, що виходить під час уявного перерізані предмета однією або декількома площинами.

13. **Розріз** – зображення предмета, подумки розрізаного однією або декількома площинами. На розрізі показується те, що виходить у січній площині і те, що розташоване за нею.

14. Залежно від кількості січних площин розрізи розділяються на **прості** і **складні**.

15. Розріз, що використовується для з'ясування облаштування предмета лише в окремому, обмеженому місці, називається **місцевим**.

16. Складні розрізи бувають **ступінчастими**, якщо січні площини паралельні, і **ламаними**, якщо січні площини перетинаються.

17. Винесений переріз зображують поза контуром виду предмета, деталі чи в їх розриві. Накладений переріз викреслюють безпосередньо на зображенні предмета, деталі, водночас контур зображення не переривають.

18. Контур винесеного перерізу, а також перерізу, що входить до складу розрізу, зображують суцільними основними лініями, а контур накладеного перерізу – суцільними тонкими лініями.

19. Розрізи і перерізи використовуються для виявлення внутрішньої форми предмета.

20. Положення січної площини при зображенні розрізу не позначають, якщо січна площина співпадає з площиною симетрії предмета.

21. Залежно від положення січної площини відносно горизонтальної площини проекцій розрізи розділяються на:

а) **горизонтальні** – січна площина паралельна горизонтальній площині проекцій;

б) **вертикальні** – січна площина перпендикулярна горизонтальній площині проекцій;

в) **похилі** – січна площина складає з горизонтальною площиною проекцій кут, відмінний від прямого.

**Вертикальні розрізи** називаються:

а) **фронтальними**, якщо січна площина паралельна фронтальній площині проекцій;

б) **профільними**, якщо січна площина паралельна профільній площині проекцій.

22. Під час виконання завдань із розділу «**Проекційне креслення**» використовують геометричний принцип задання розмірів на кресленні: задають розміри форми, розміри положення, габаритні розміри.

23. Розміри форми визначають кожен з простих геометричних форм, що утворюють деталь. Розміри положення характеризують відносно положення формоутворювальних поверхонь одна відносно однієї, відносно осей і площин базових або симетрії. Відстані між крайніми точками деталі по довжині, висоті і ширині називають **габаритними розмірами**.

24. **ГОСТ 2.307–68** встановлює правила нанесення розмірів і граничних відхилень на кресленнях і інших технічних документах на вироби усіх галузей промисловості і будівництва.

25. **Аксометрична проекція** – зображення геометричної фігури, яке виходить шляхом паралельного проектування її на деяку площину  $\Pi'$  разом із декартовою системою прямокутних координат  $OXYZ$  до якої вона віднесена в просторі.

26. Відношення довжини акснометричної проекції відрізка координатної осі або відрізка, паралельного цій осі, до довжини самого відрізка називають **коефіцієнтом спотворення** по осях.

27. Залежно від порівняльної величини коефіцієнтів спотворення по осях розрізняються три види акснометрії:

а) **ізометрія**, коли усі три коефіцієнти спотворення дорівнюють один одному  $u = v = w$ ;

б) **диметрія**, коли два коефіцієнти спотворення дорівнюють один одному, а третій не дорівнює, наприклад,  $u = w \neq v$ ;

в) **триметрія**, коли усі три коефіцієнти спотворення не дорівнюють один одному  $u \neq v \neq w$ .

28. Залежно від напрямку проектування акснометричні проекції розділяються на **прямокутні**, у яких напрям проектування перпендикулярний до акснометричної площини, і **косокутні**, у яких напрям проектування не перпендикулярний до акснометричної площини.

29. Лінії штрихування перерізів в акснометричних площинах наносять паралельно одній з діагоналей проекцій квадратів, що належать відповідним координатним площинам, сторони яких паралельні акснометричним осям.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

### *Основна література*

1. Арустамов Х. А. Сборник по начертательной геометрии : учебник для втузов / Х. А. Арустамов. – М. : Машиностроение, 1978. – 445 с.
2. Бубенников А. В. Начертательная геометрия : учебник для втузов / А. В. Бубенников. – М. : Высшая школа, 1985. – 288 с.
3. Виноградов В. К. Элементы начертательной геометрии : учебник для втузов / В. К. Виноградов, И. А. Ройтман. – М. : Просвещение, 1978. – 175 с.
4. Верхола А. П. Інженерна графіка, креслення, комп'ютерна графіка : навч. посібник / А. П. Верхола, Б. Д. Коваленко, В. М. Богданов. – Київ : Каравелла, 2005. – 304 с.
5. Вяткин Г. П. Машиностроительное черчение : / Г. П. Вяткин. – М. : Машиностроение, 2000. – 432 с.
6. Гордон В. О., Курс начертательной геометрии : учебник для втузов / В. О. Гордон, М. А. Семенцов-Огиевский. – М. : Наука, 1977. – 368 с.
7. Иванов Г. С. Начертательная геометрия : учебник для втузов / Г. С. Иванов. – М. : Машиностроение, 1999. – 334 с.
8. Короев Ю. И. Начертательная геометрия : учебник для вузов / Ю. И. Короев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Архитектура – СПб. : 2004. – 424 с. (Специальность «Архитектура»).
9. Практикум з нарисної геометрії: навч.-метод. посібник. / В. І. Лусь, Т. Є. Киркач, О. Є. Мандріченко, А. О. Радченко ; Харків. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 118 с.
10. Миронов Б. Г. Сборник задач по инженерной графике с примерами выполнения заданий на компьютере : учеб. пособие. – М. : Высшая школа, 2004. – 355 с.
11. Інженерна та комп'ютерна графіка : підручник / [В. Є. Михайленко, В. В. Ванін, С. М. Ковальов]; За ред. В. Є. Михайленка. – Київ : Каравела, 2014. – 360 с.
12. Начертательная геометрия : учебное пособие: в 3-х содержательных модулях / В. И. Лусь; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харків : ХНУГХ, 2014. – 211 с.
13. Чекмарев А. А. Инженерная графика: учеб. для немаш. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 2000. – 335 с.

### *Додаткова література*

1. Крылов Н. Н. Начертательная геометрия : учебник для вузов. – 9-е изд. / Н. Н. Крылов. – М. : Высшая школа. 2006. – 224 с.
2. Локтев О. В. Задачник по начертательной геометрии : учебник для втузов / О. В. Локтев, П. А. Числов. – М. : Высшая школа, 1984, – 200 с.
3. Локтев, О. В. Краткий курс начертательной геометрии : учебник для вузов / О. В. Локтев. – М. : Высшая школа, 1985. – 240 с.
4. Инженерная графика: учебник для вузов / под ред. Н. П. Сорокина. – 2-е изд., стер. – СПб. : Издательство «Лань», 2008. – 400 с.

*Довідкова і нормативна література*

1. ГОСТ 2.301-68\*. Форматы – Взамен ГОСТ 3451-59; введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – С. 3–4. (Единая система конструкторской документации).
2. ГОСТ 2.303-68\*. Линии – Взамен ГОСТ 3456-59; введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – С.12–39. – (Единая система конструкторской документации).
3. ГОСТ 2.304-81. Шрифты чертежные – Взамен ГОСТ 2.304-68; введ. 01.01.1982. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – С. 6–11. – (Единая система конструкторской документации).
4. ГОСТ 2.305-68. Изображения – виды, разрезы, сечения. – М. : изд-во ГОССТАНДАРТ, 1991. – 236 с.
5. ГОСТ 2.307-68. Нанесение размеров и предельных отклонений. – М. : изд-во ГОССТАНДАРТ, 1991. – 236 с.
6. Лусь В. И. Инженерная графика : Справочные материалы для практических занятий / В. И. Лусь, С. Н. Швыдкий. – Харьков : ХНАГХ, 2010. – 130 с.

## **ДОДАТКИ**

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Кафедра основ архітектурного проектування і рисунку

АЛЬБОМ

завдань з інженерної графіки

Виконав:

ст. 1 курсу, гр. ТГВ-1

Петренко В.Н.

Перевірив:

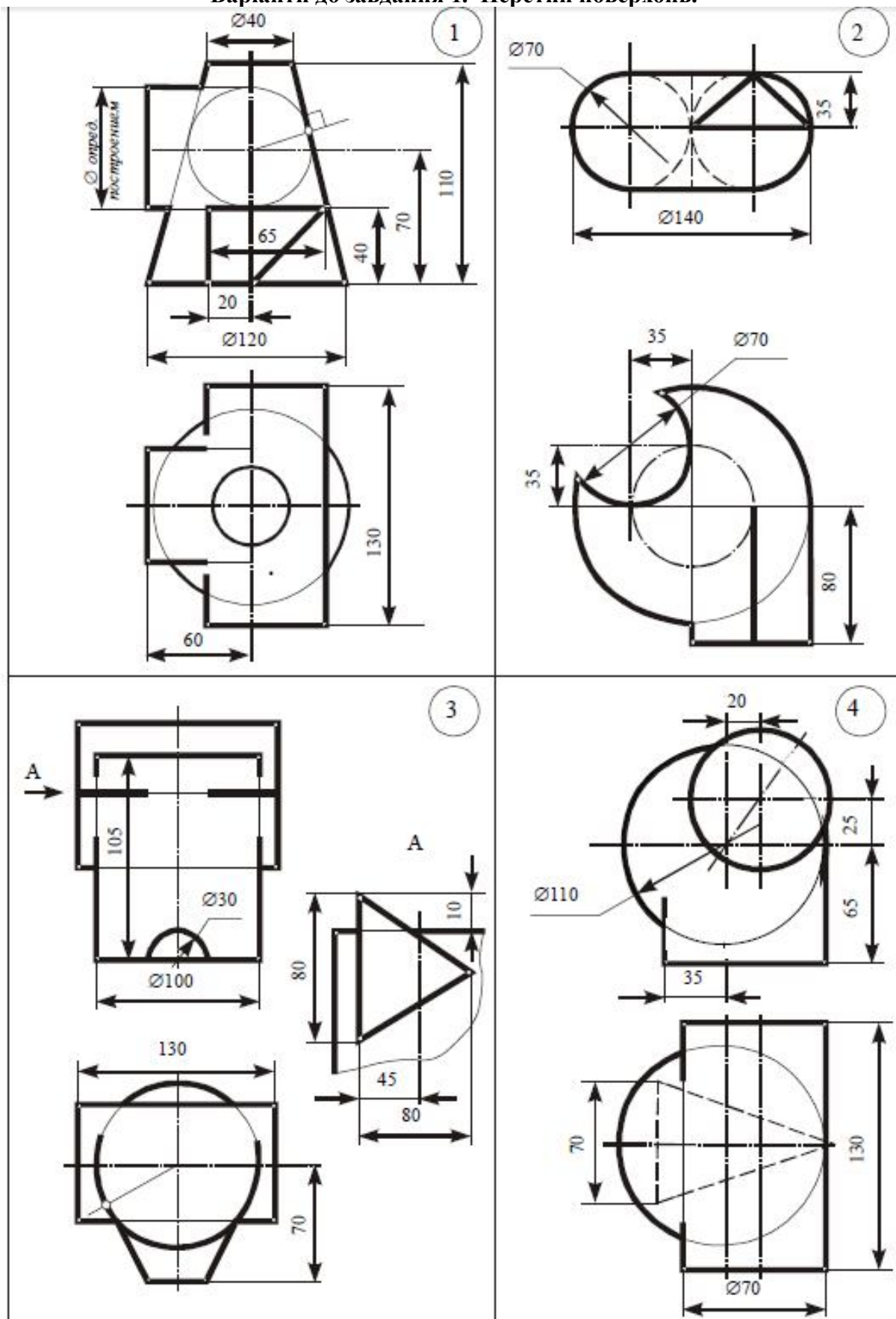
викладач кафедри ОАПІР

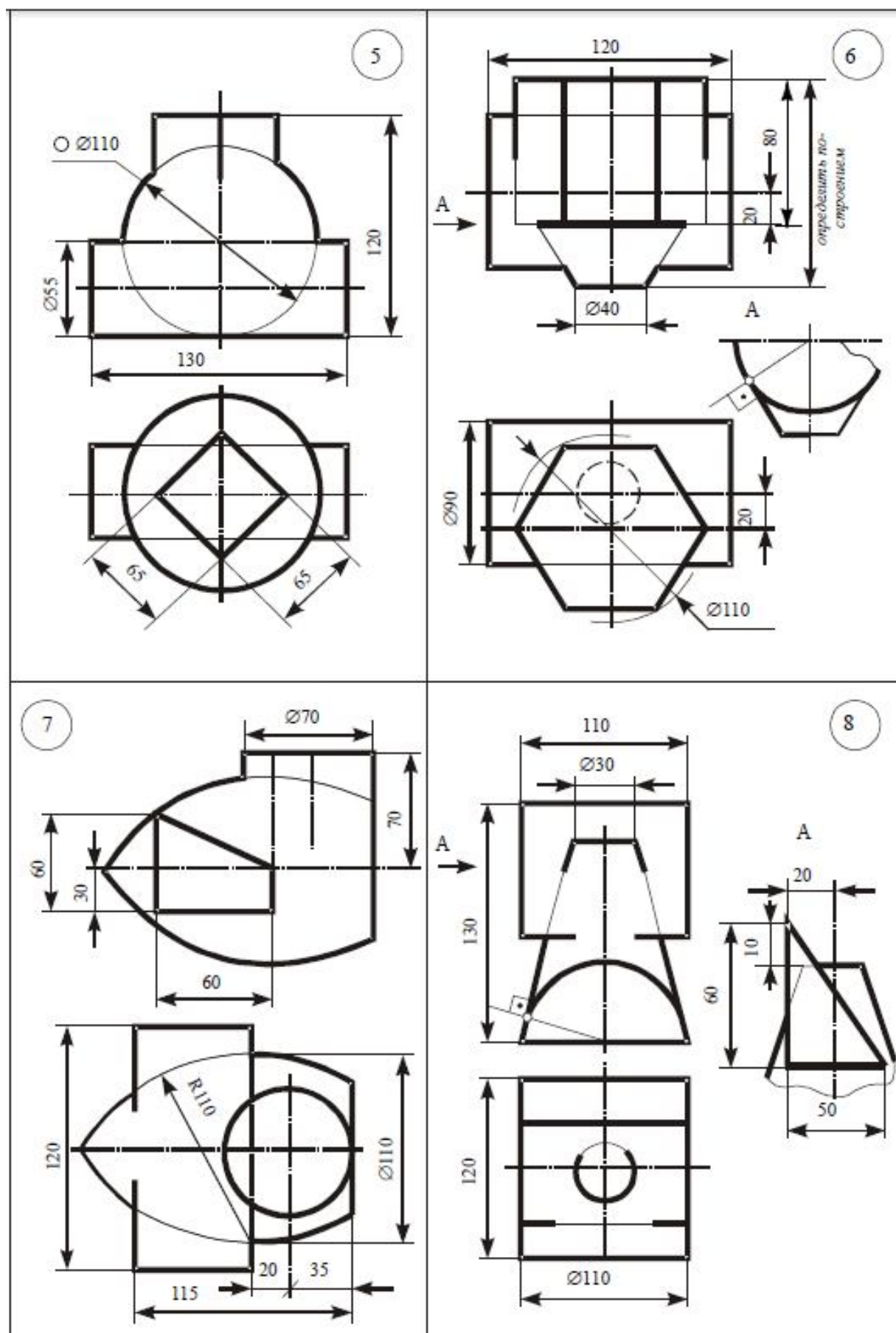
Лусь В.І.

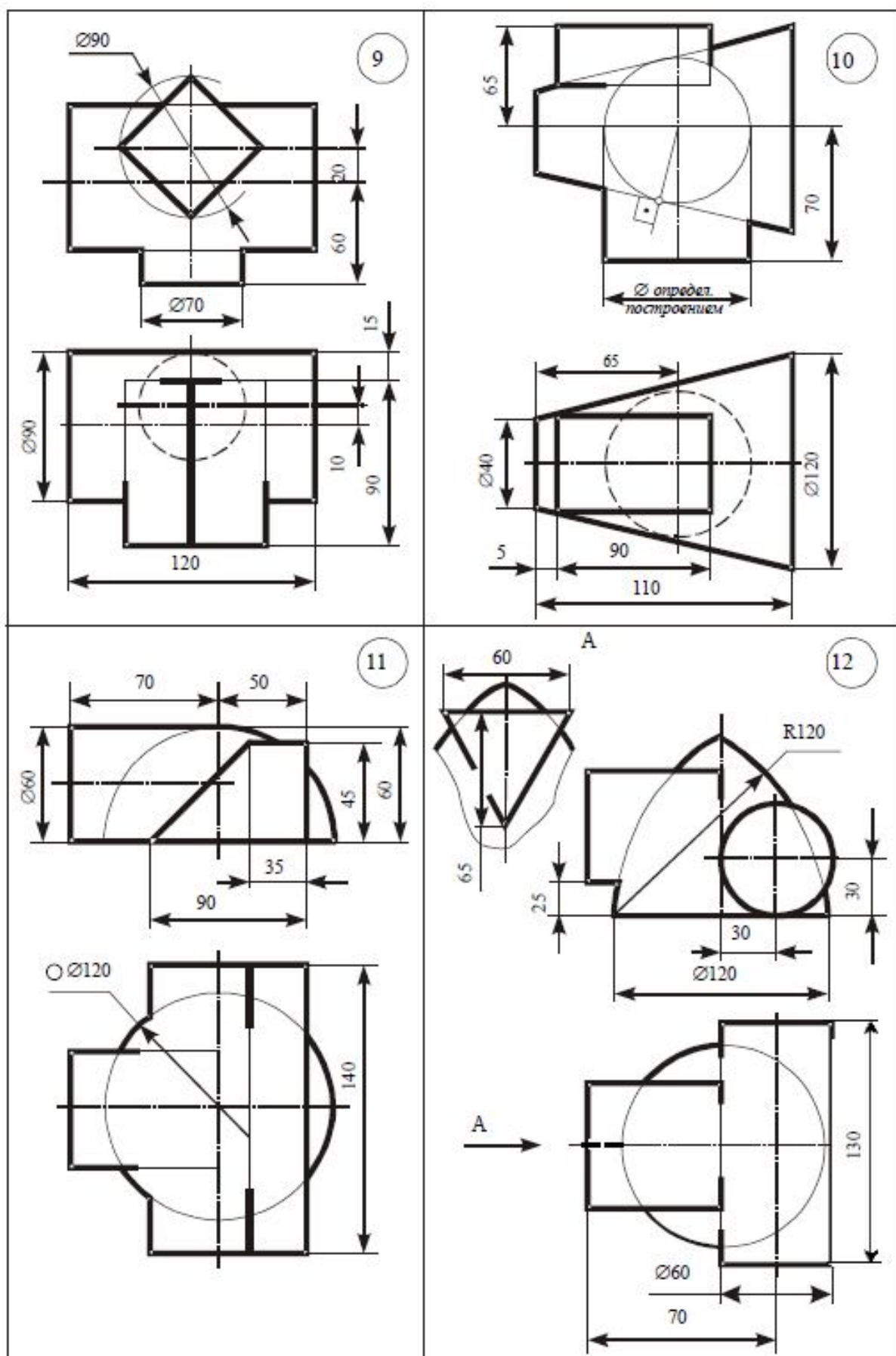
2017

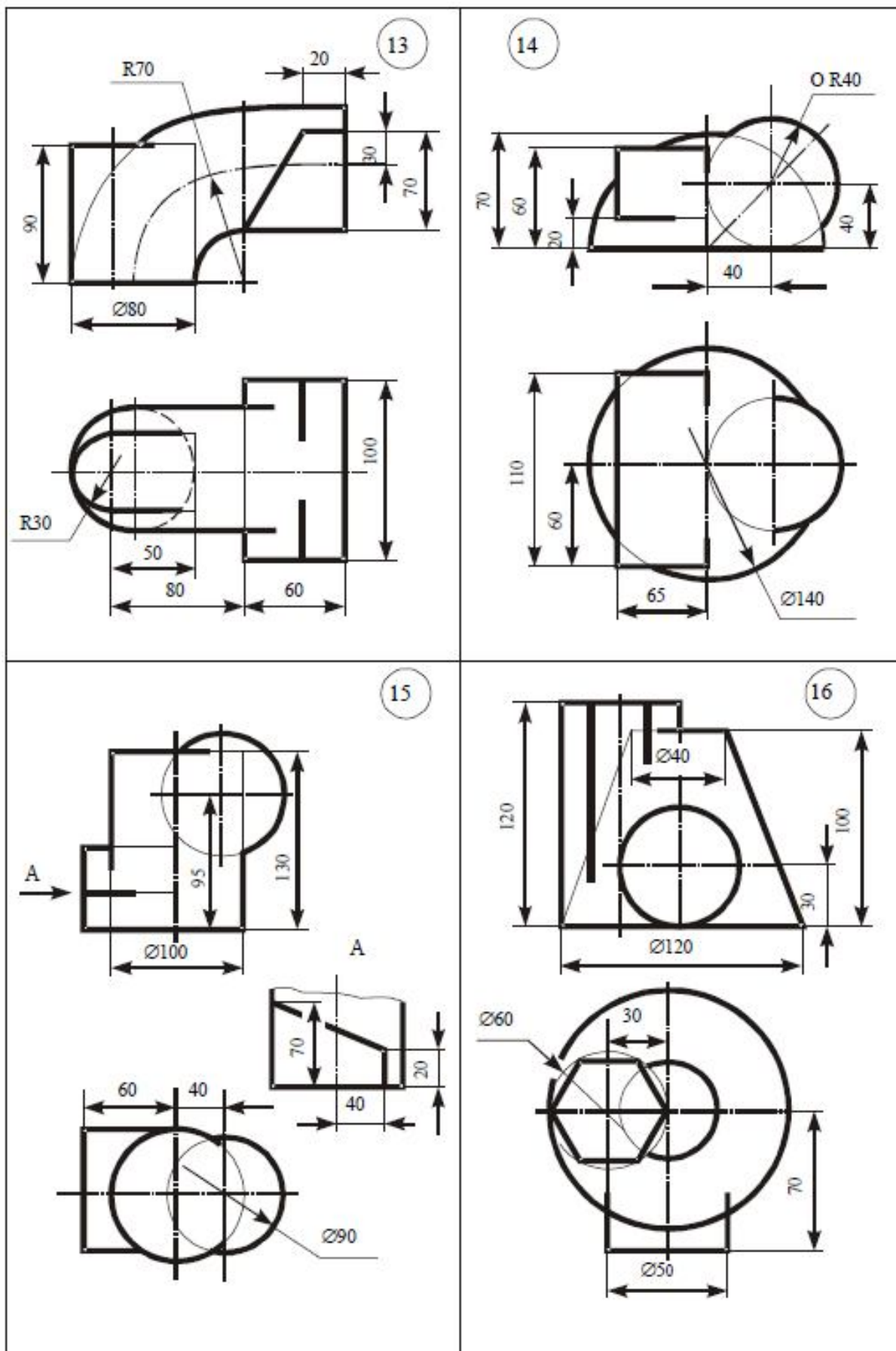


Додаток Б  
Варіанти до завдання 1. Перетин поверхонь.

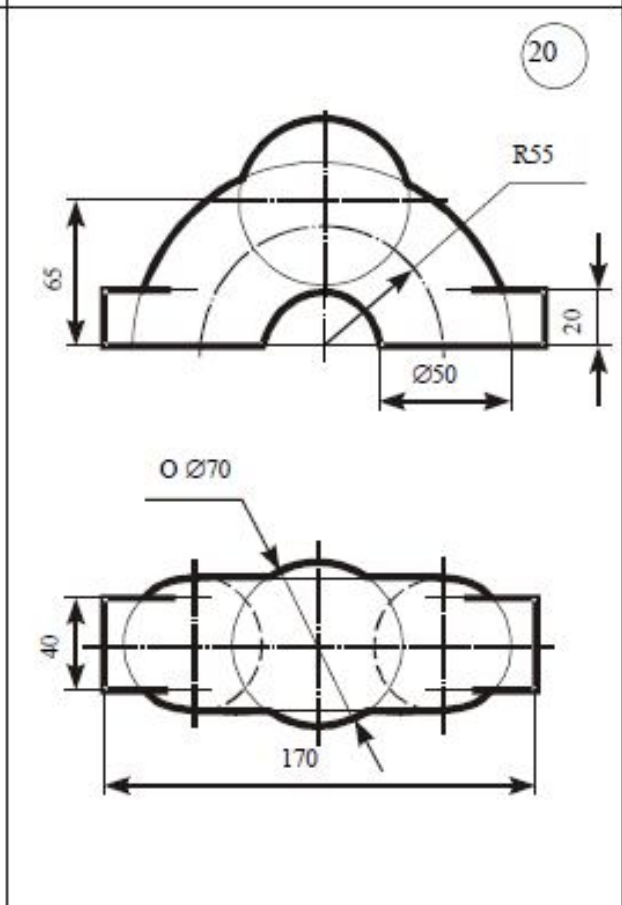
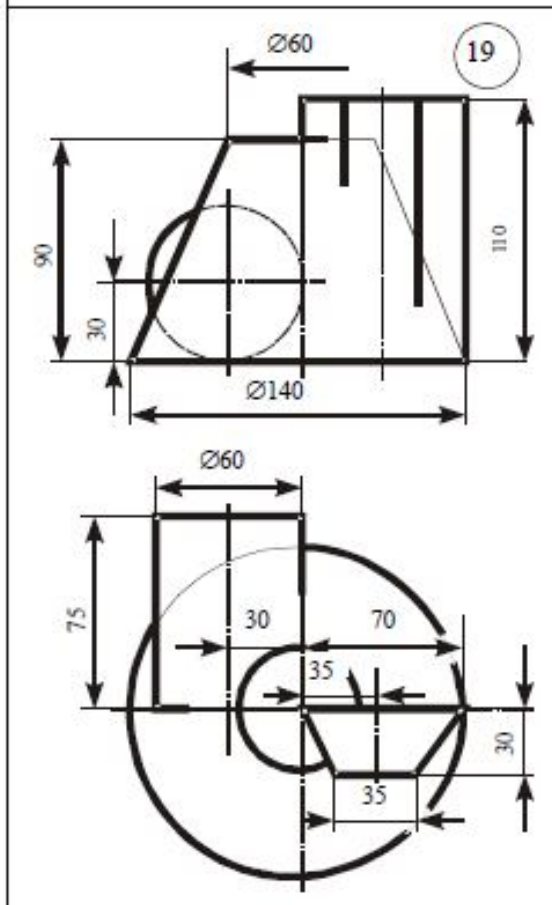
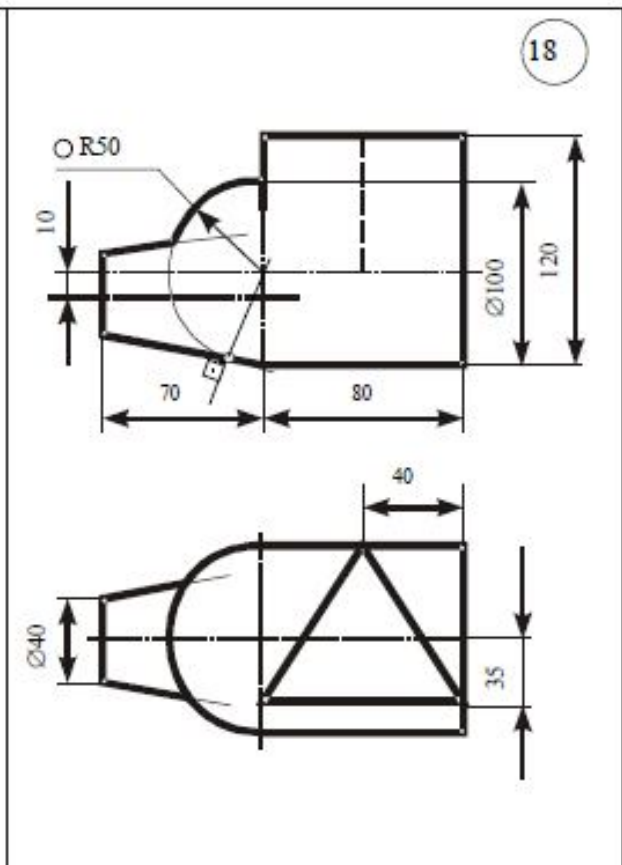
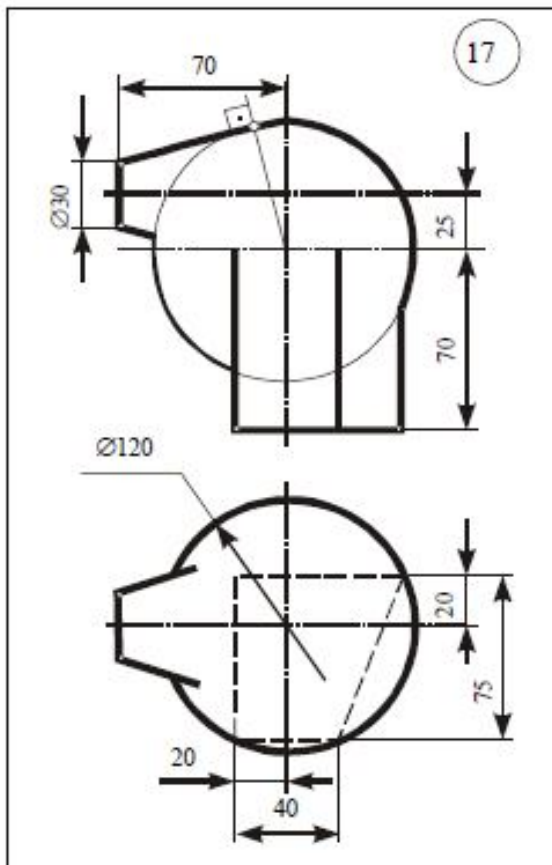


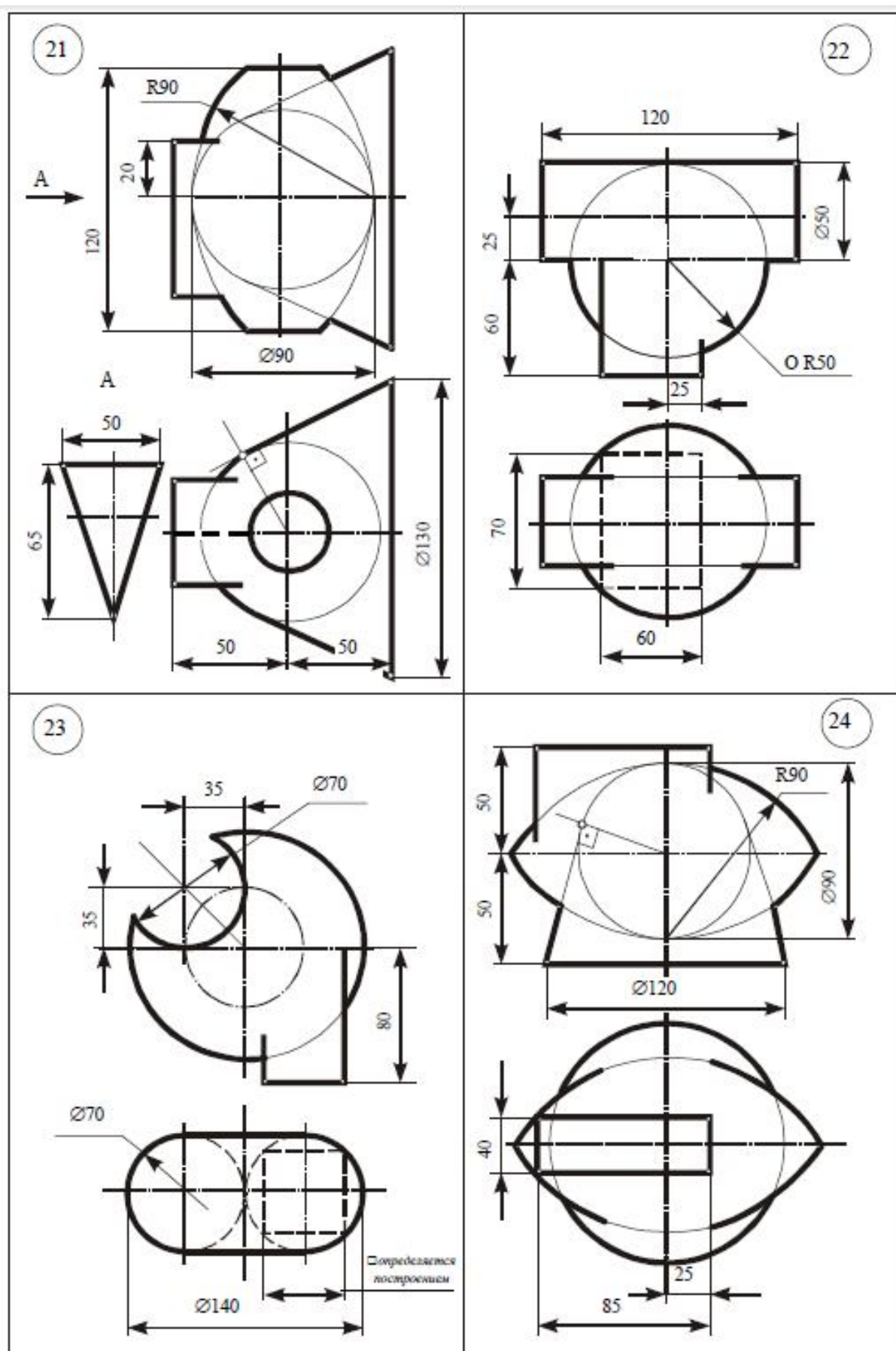




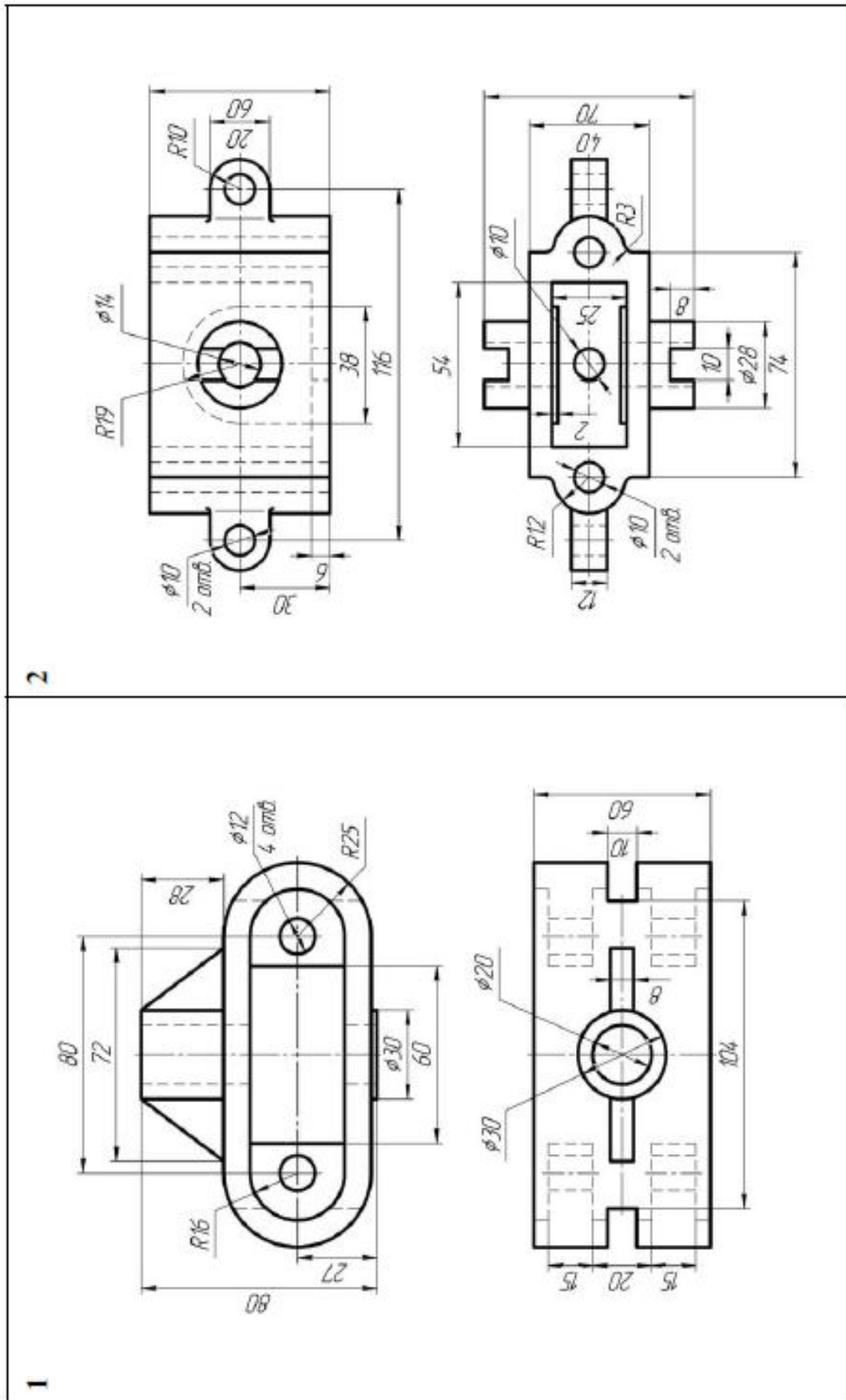


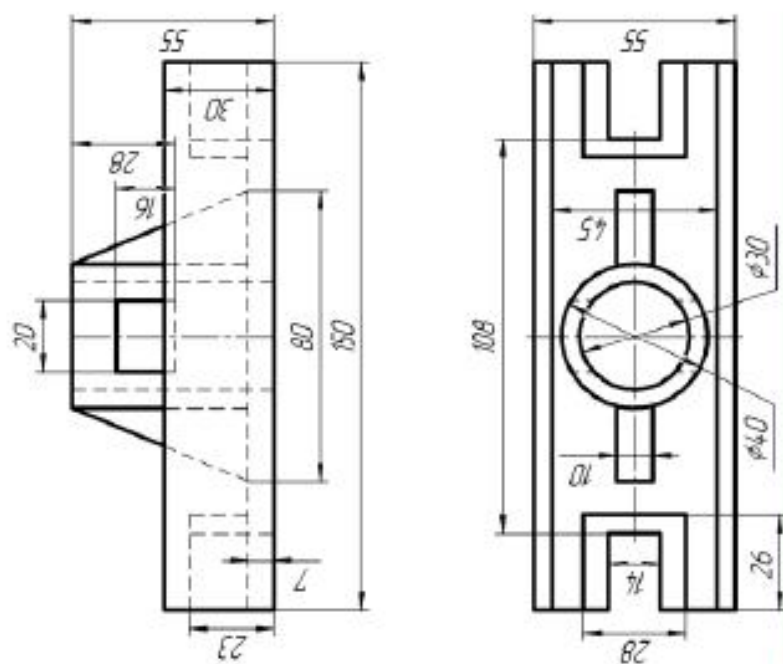
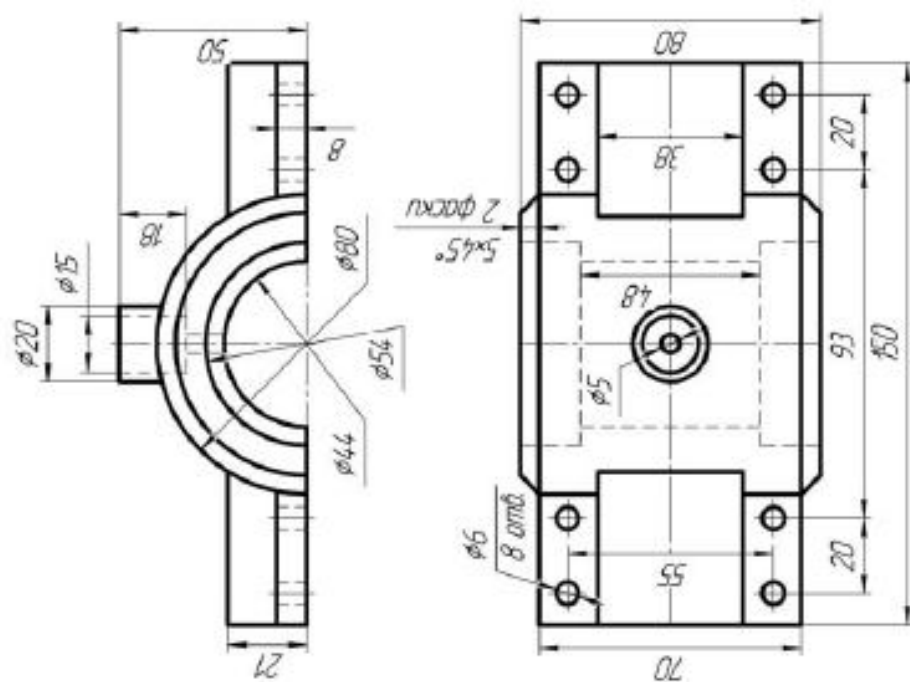






Додаток В  
Варіанти завдань до виконання ескізу моделі (деталі)

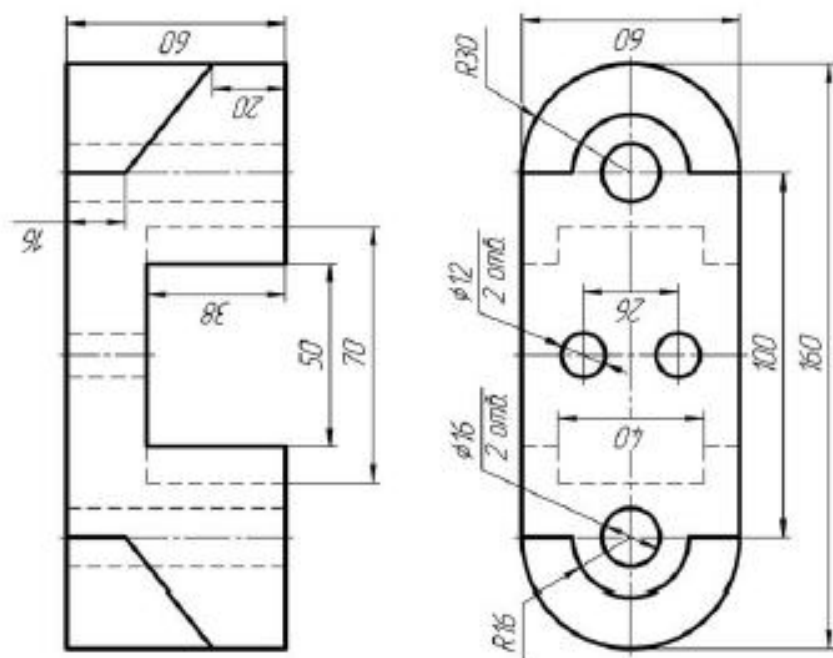




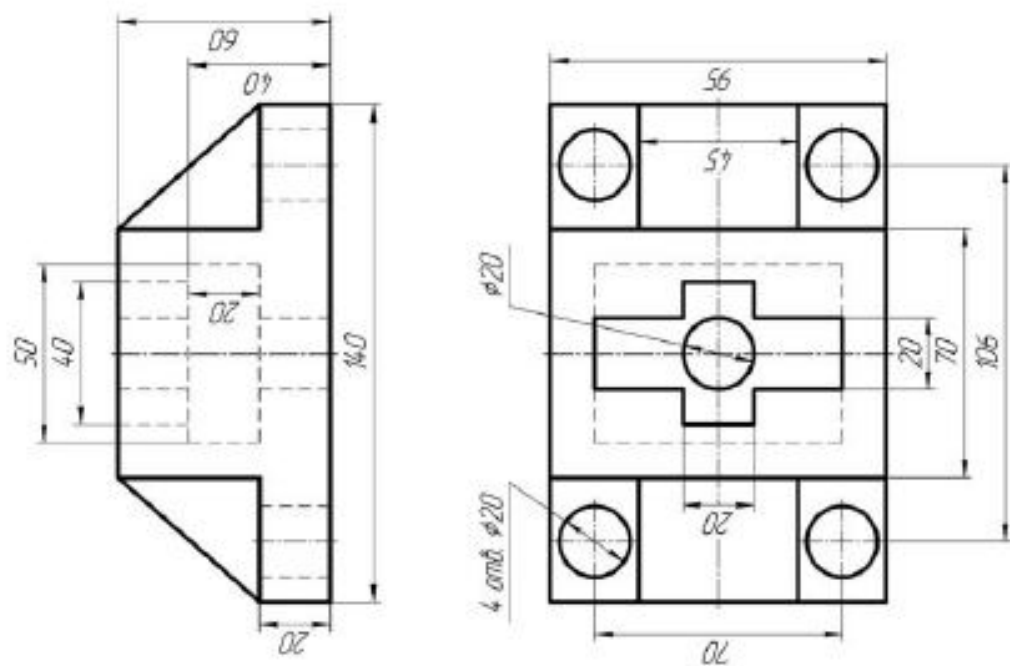
3



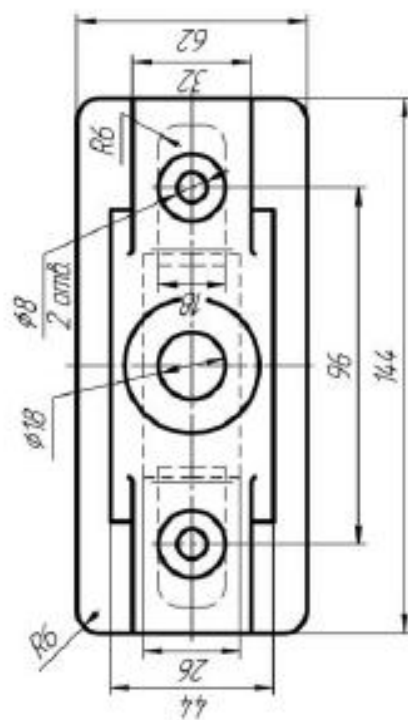
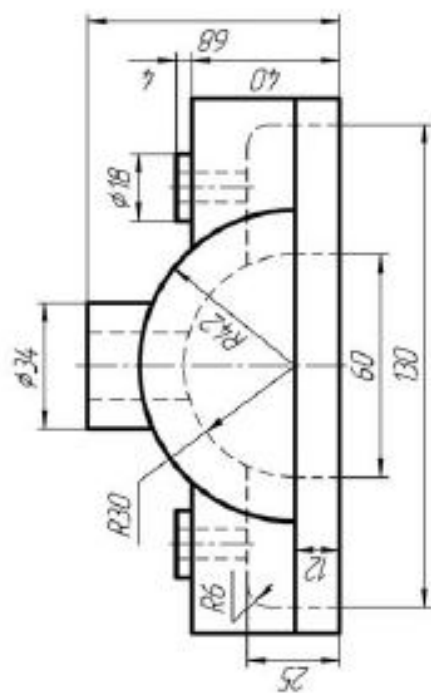
5



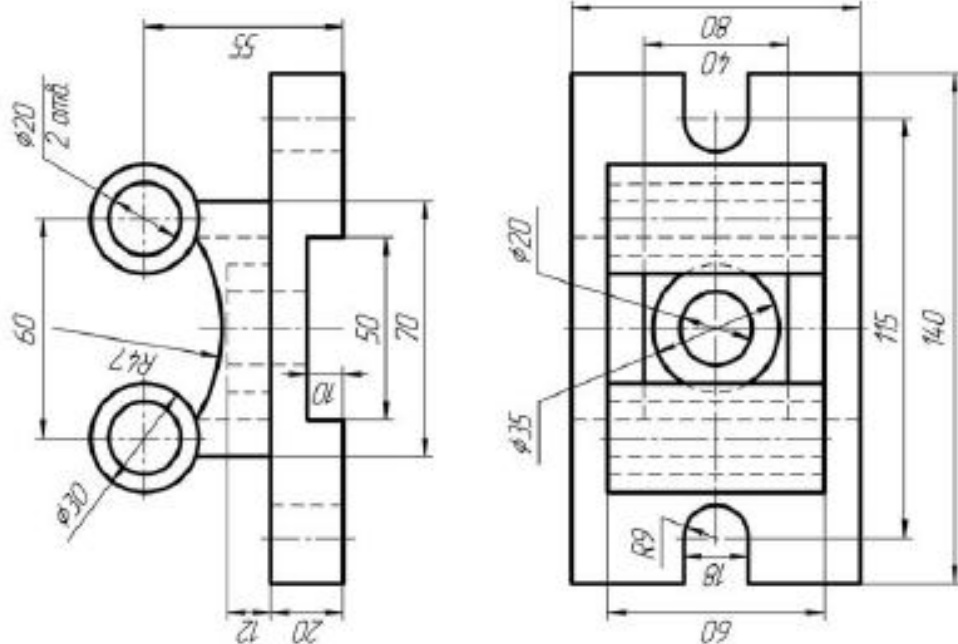
6



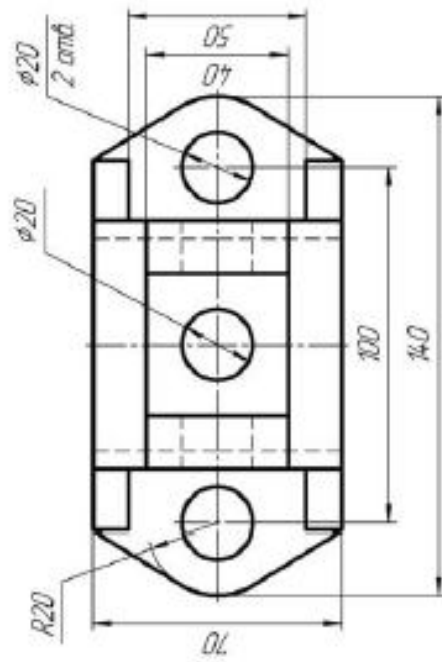
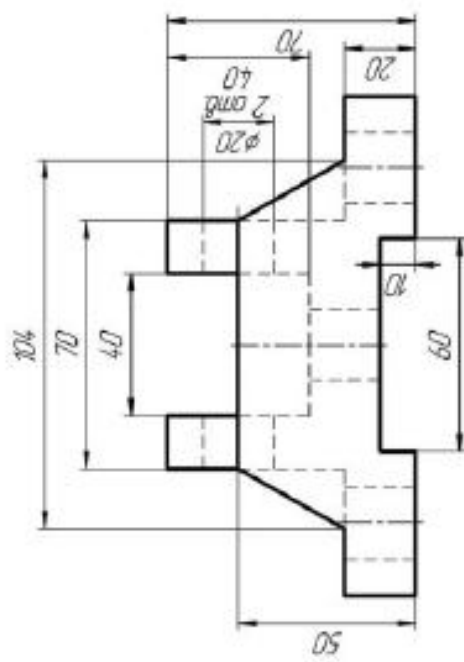
7



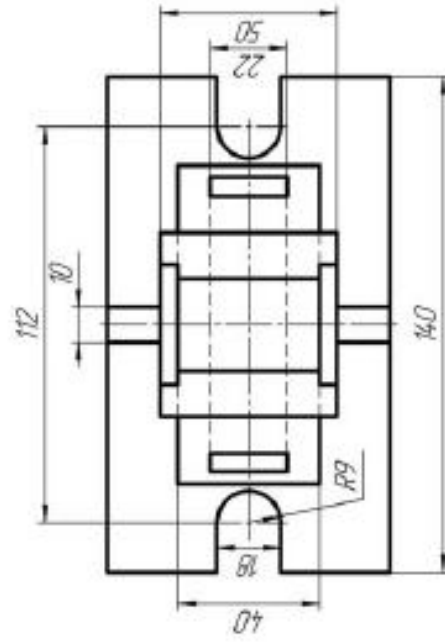
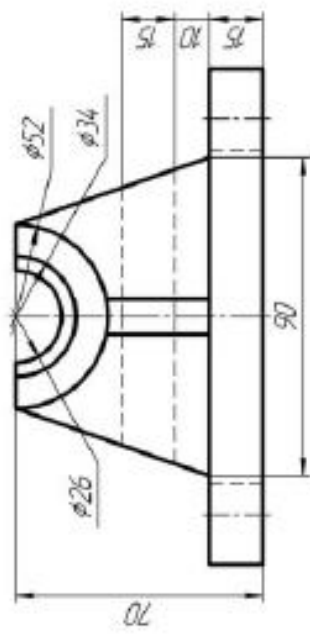
8



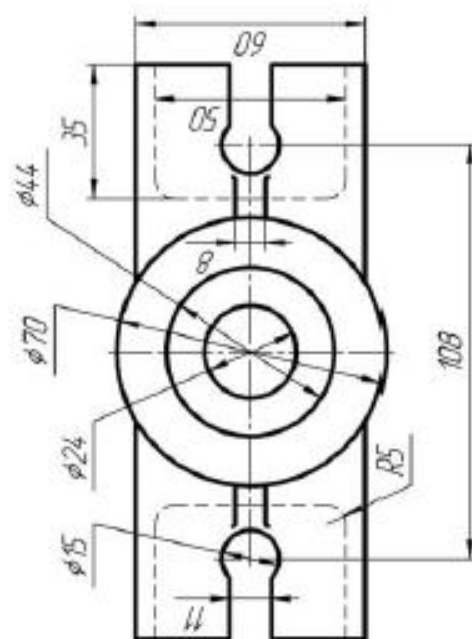
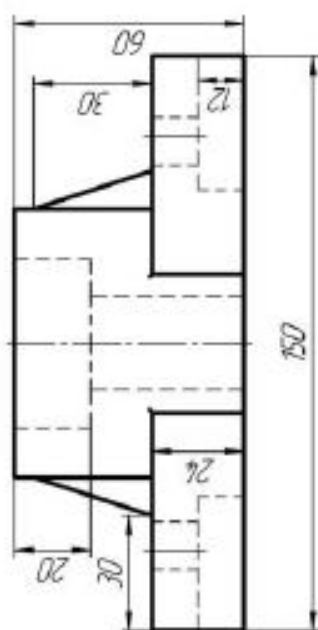
9



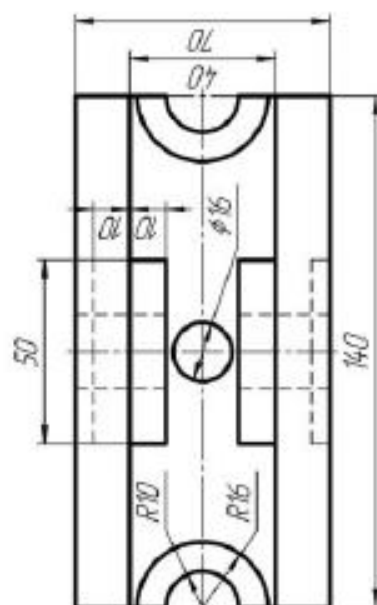
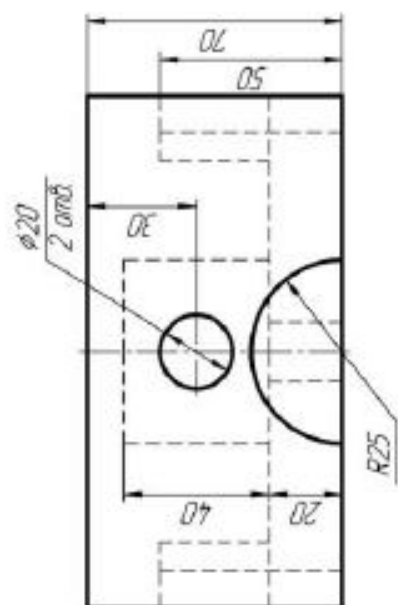
10



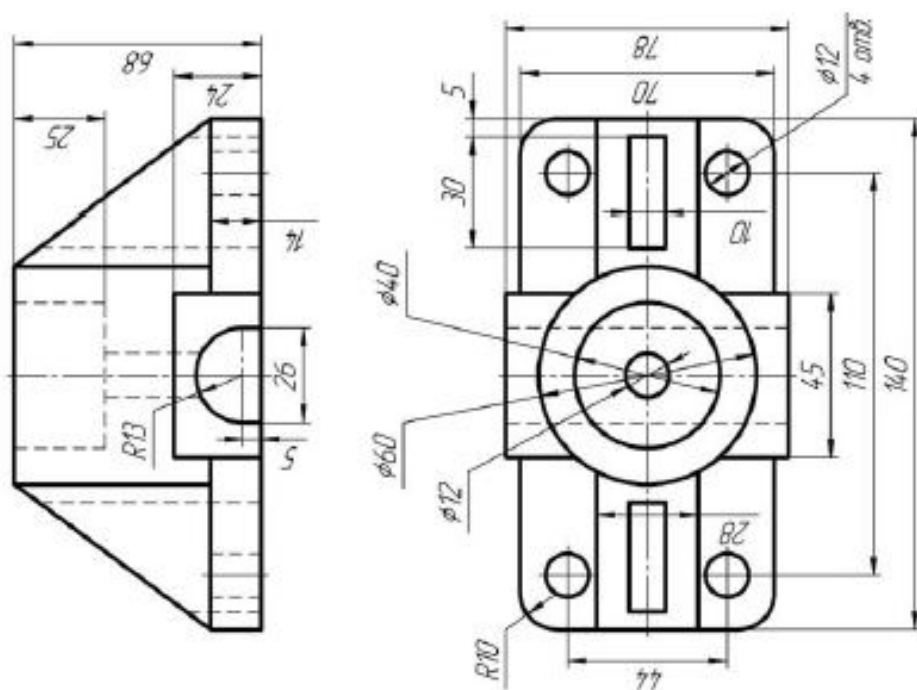
11



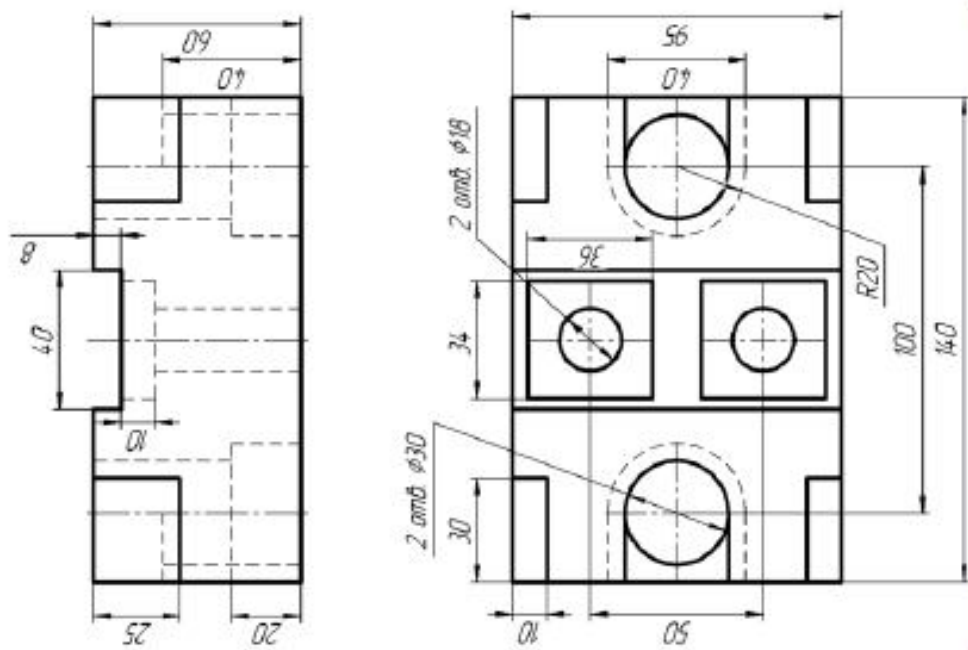
12

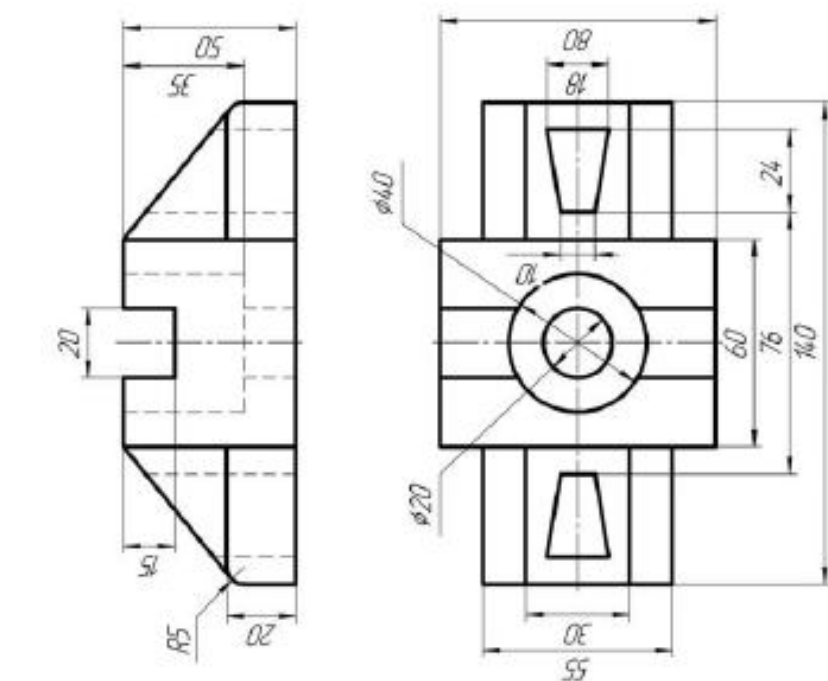


13

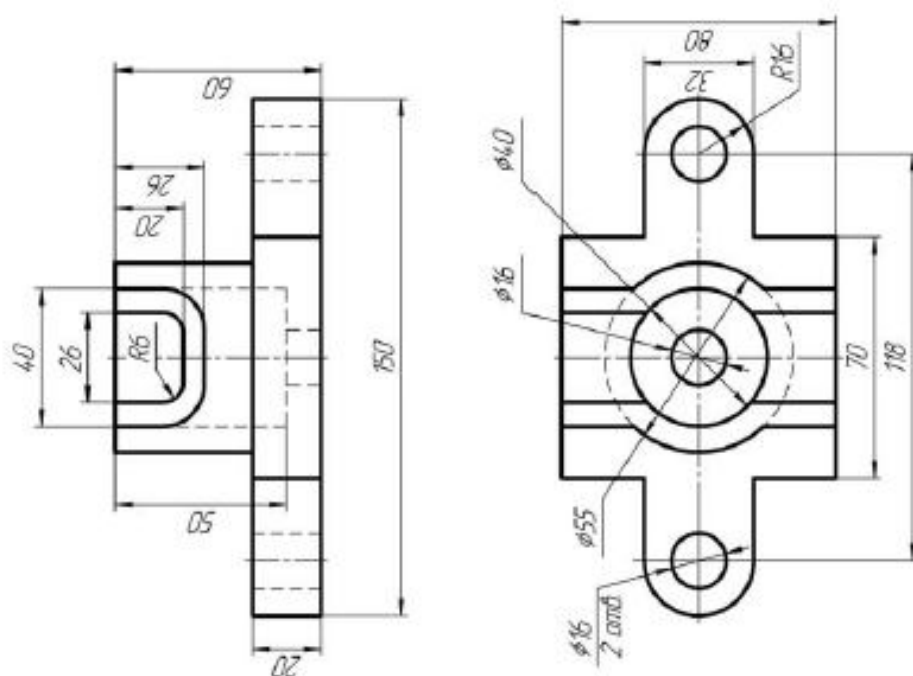


14



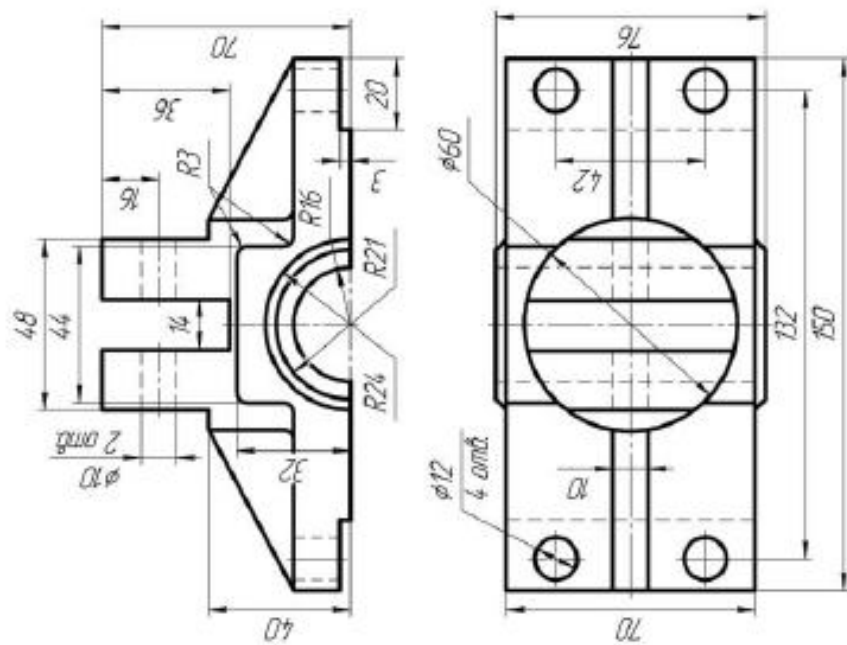


16

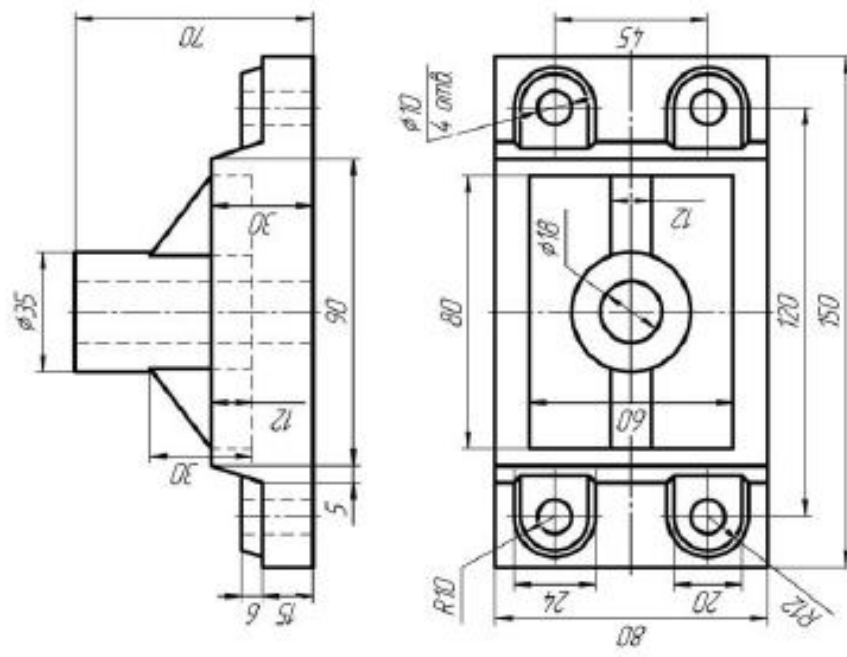


51

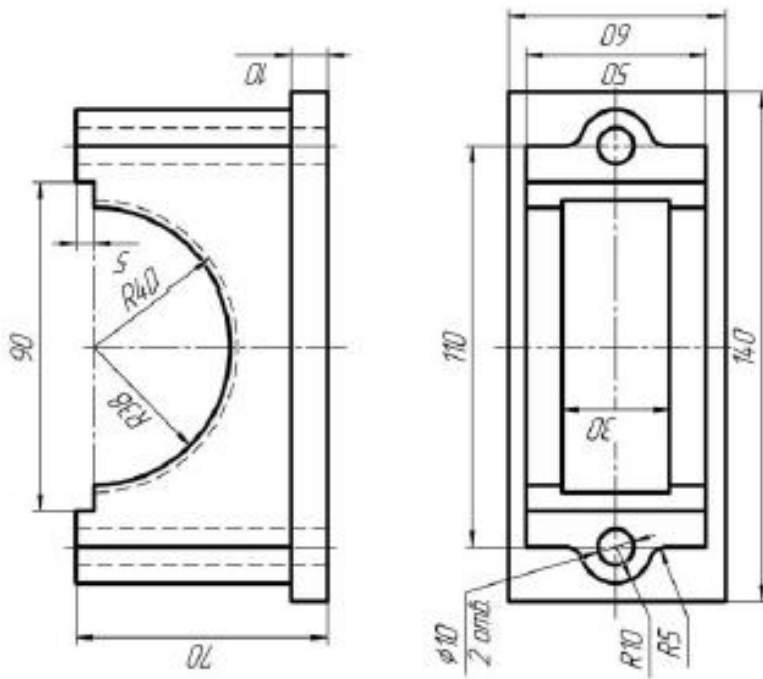
17



18

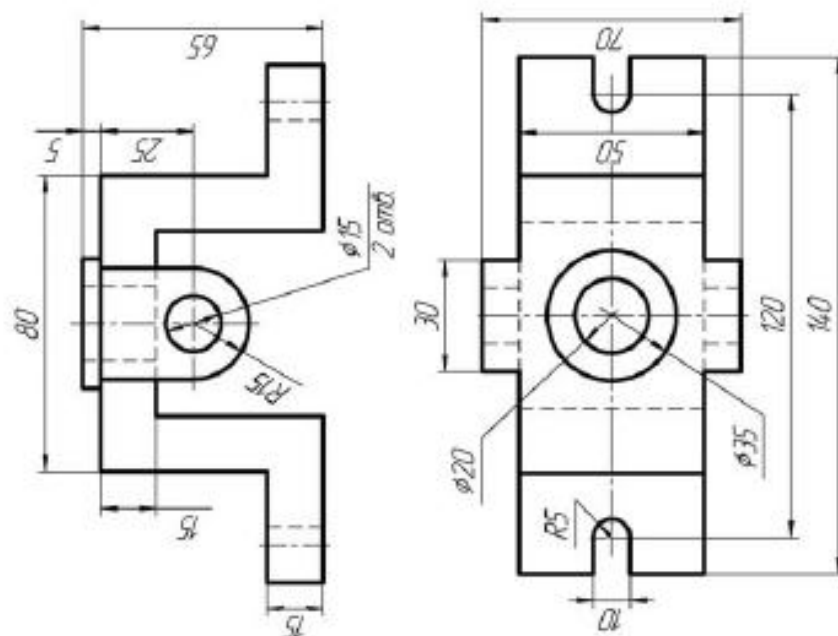


20

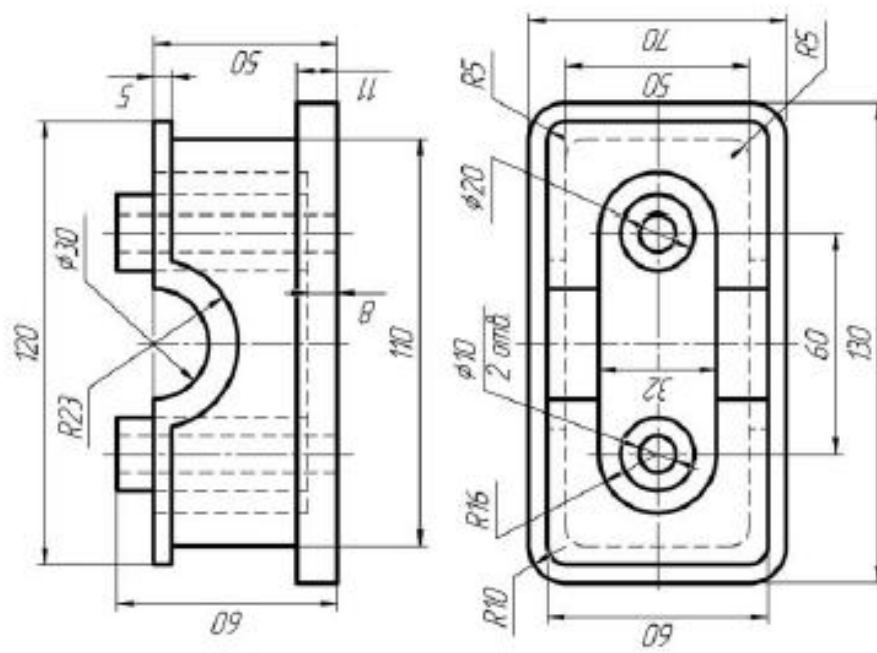


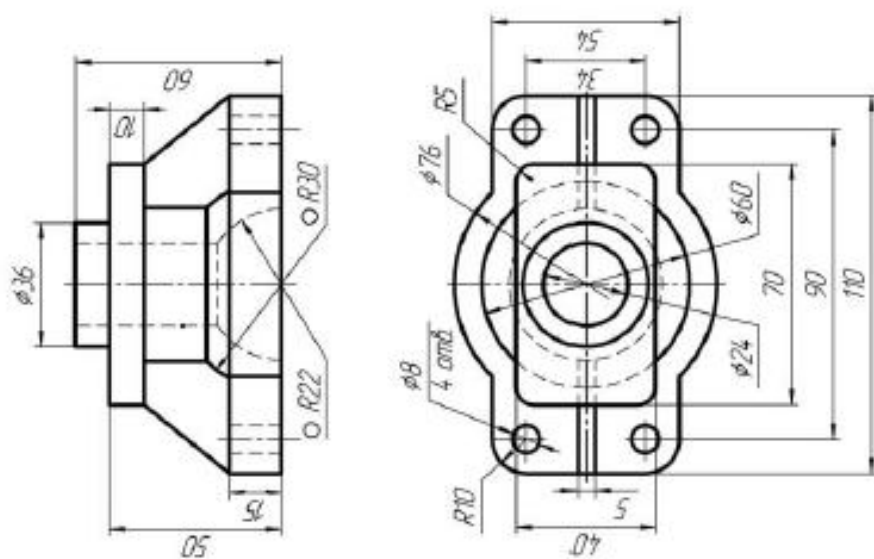
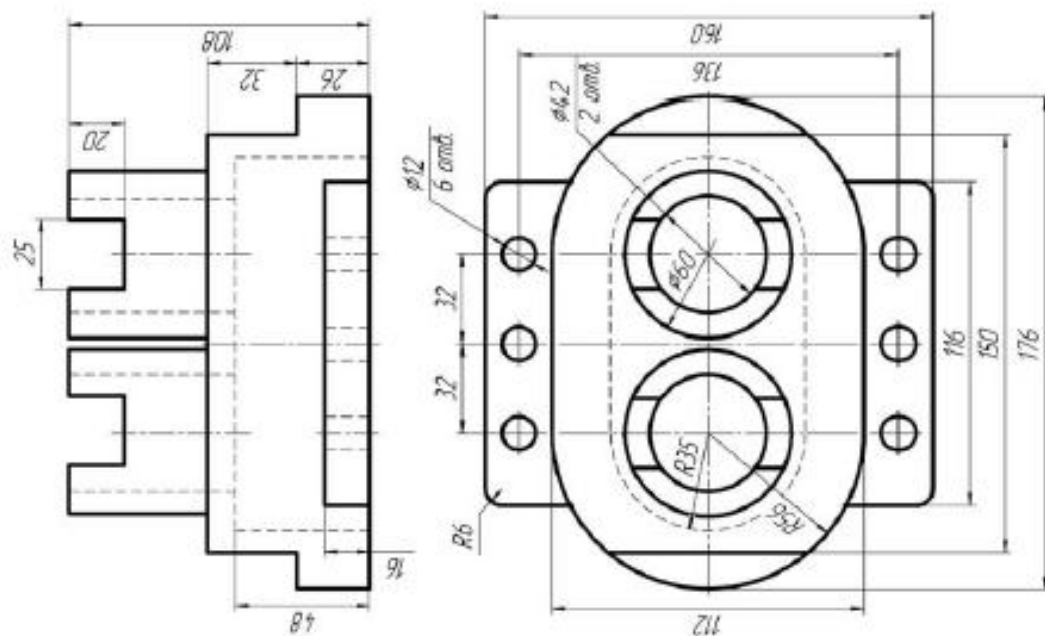


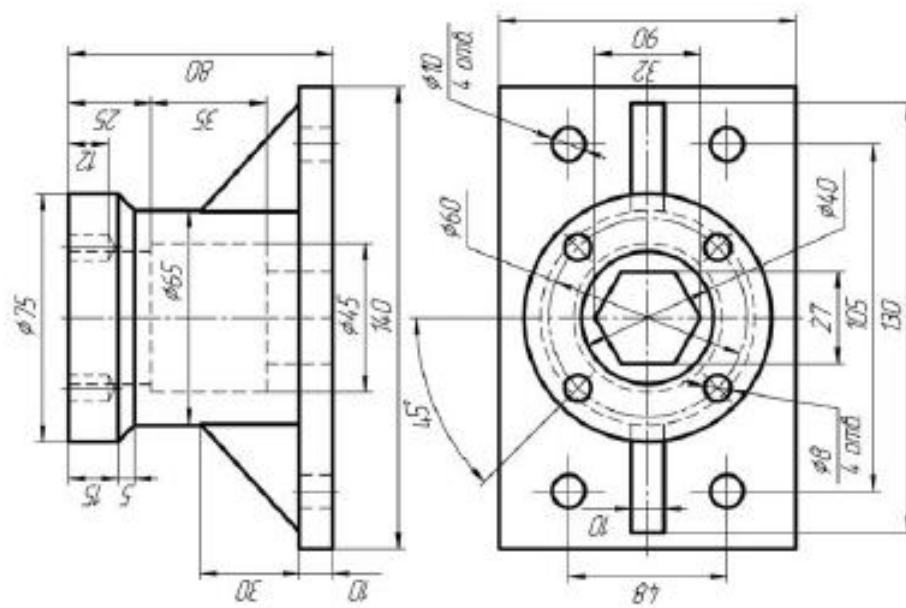
21



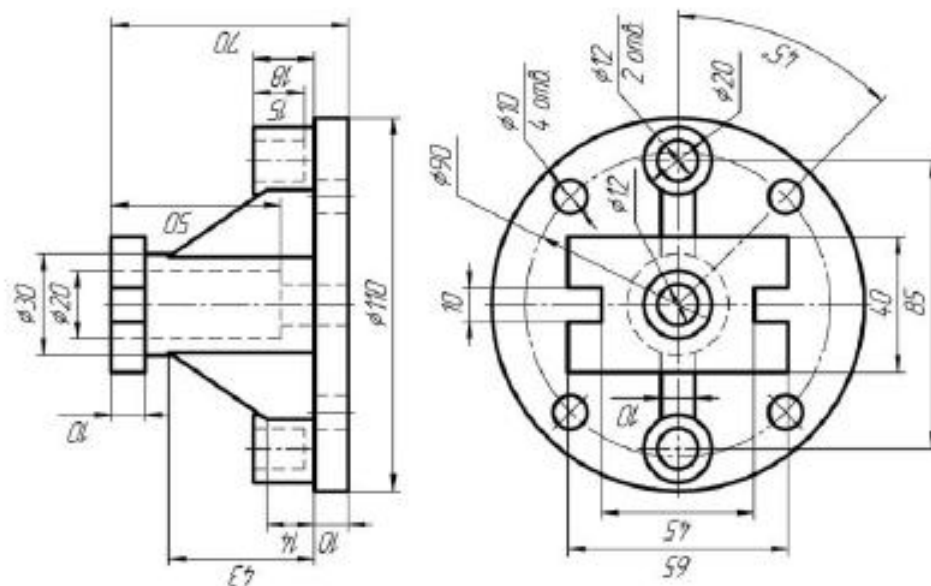
22





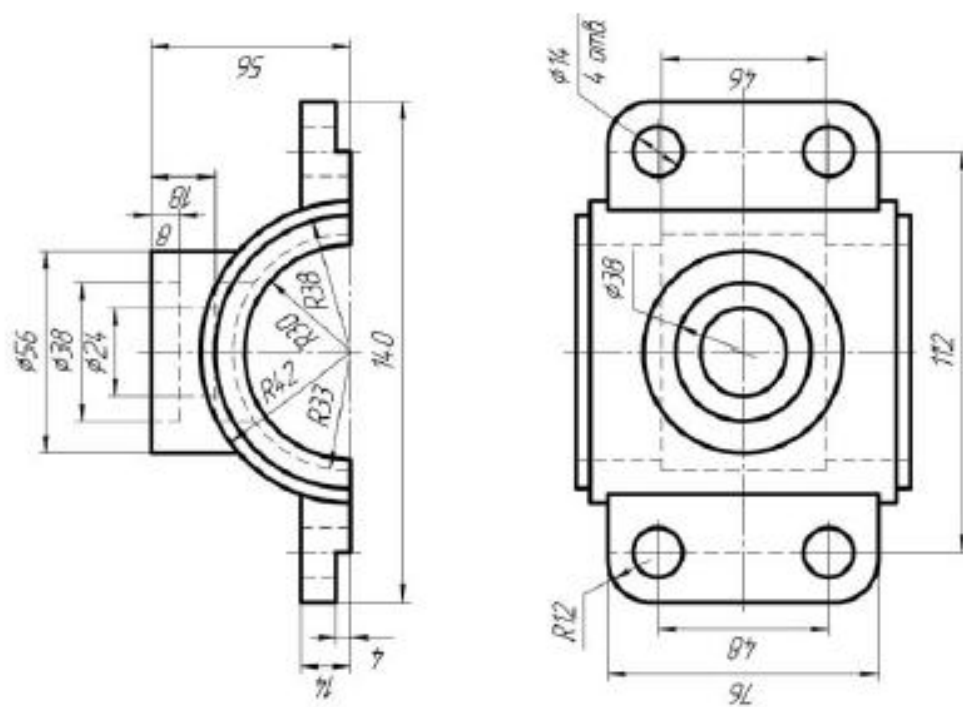


26

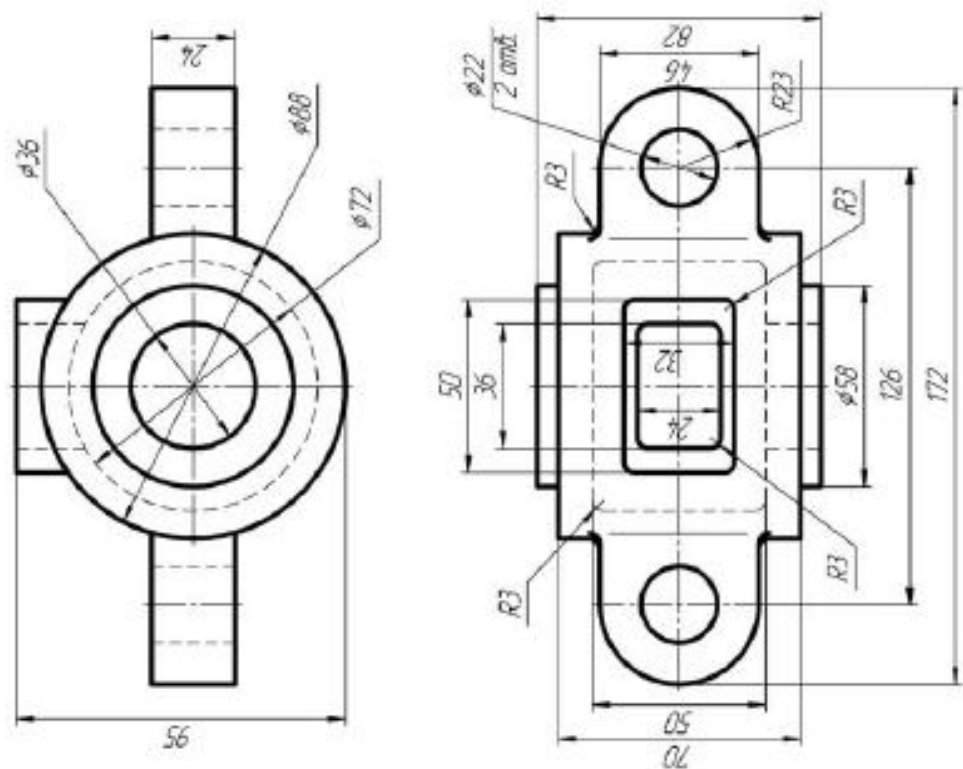


25

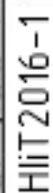
0



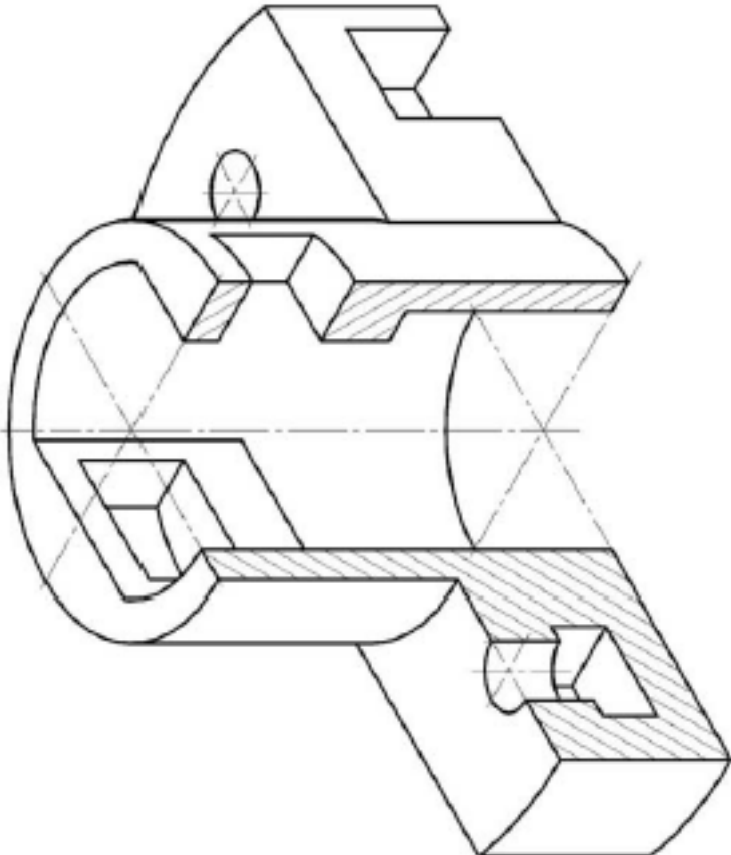
27



### Зразок виконання ескізу моделі (деталі)



Додаток Д  
Зразок виконання аксонометрії моделі (деталі)

										НУМГ.ІГ.02.05.06РК				2:1					
										Проекційне креслення				1					
										НіІТ 2016-1				1					
										Креслення				1					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																			

*Навчальне видання*

**ЛУСЬ** Володимир Іванович

**ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ  
ВИКОНАННЯ ПРОЕКЦІЙНОГО КРЕСЛЕННЯ**

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск *М. А. Любченко*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *С. М. Швидкий*

Підп. до друку 11.04.2017 Формат 60 × 90/8

Друк на ризографі Ум. друк. арк. 5,2

Тираж 50 пр. Зам №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.